

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 09.04.01 Информатика и вычислительная техника
Образовательная программа Искусственный интеллект и машинное обучение

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование и реализация метода синтеза вариационного автоэнкодера и генеративно-состязательных сетей в задачах создания новых медицинских данных

УДК 004.85

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8BM93	Лаптев Владислав Витальевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОИТ	Гергет О.М.	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, отделение социально-гуманитарных наук	Верховская М.В.	Кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор, Отделение контроля и диагностики	Федоренко О.Ю.	Доктор медицинских наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

МАГИСТР

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i> <i>(Профиль «Информатика и вычислительная техника»)</i>	
P1	Применять базовые и специальные естественнонаучные и математические знания в области информатики и вычислительной техники, достаточные для комплексной инженерной деятельности.
P2	Применять базовые и специальные знания в области современных информационных технологий для решения инженерных задач.
P3	Ставить и решать задачи комплексного анализа, связанные с созданием аппаратно-программных средств информационных и автоматизированных систем, с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей.
P4	Разрабатывать программные и аппаратные средства (системы, устройства, блоки, программы, базы данных и т. п.) в соответствии с техническим заданием и с использованием средств автоматизации проектирования.

P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования, включающие поиск и изучение необходимой научно-технической информации, математическое моделирование, проведение эксперимента, анализ и интерпретация полученных данных, в области создания аппаратных и программных средств информационных и автоматизированных систем.
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные программно-аппаратные комплексы, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья, безопасность труда, выполнять требования по защите окружающей среды.
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P9	иметь широкий кругозор, ориентироваться в современных достижениях науки и техники, понимать роль инновации в развитии общества и науки
P10	способность ставить цели и задачи, проводить научные исследования, решать задачи, возникающие в ходе научно-исследовательской и педагогической деятельности, в том числе, выбирать метод исследования, модифицировать существующие или разрабатывать новые методы, способность оформить и представить результаты научно-исследовательской работы в виде статьи или доклада с использованием соответствующих инструментальных средств обработки и представления информации
P11	способность к постоянному обучению и саморазвитию, способность использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в областях, непосредственно не связанных со сферой деятельности
P12	способность к профессиональной коммуникации, работе в коллективе и следованию кодексу профессиональной этики, способность публично выступать и отстаивать свою точку зрения, владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 09.04.01 Информатика и вычислительная техника
Образовательная программа Искусственный интеллект и машинное обучение

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8BM93	Лаптев Владислав Витальевич

Тема работы:

Исследование и реализация метода синтеза вариационного автоэнкодера и генеративно-состязательных сетей в задачах создания новых медицинских данных	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы	
---	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объектом исследования являются цифровые полутоновые изображения интраоперационной флюороскопии, подготовленные в ФГБНУ НИИ “Комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний” размером 512 × 512 пикселей, полученные при помощи аппарата КТ, а также данные цифрового характера. Исходные данные к работе: КТ-снимки камер сердца размером 512 × 512 пикселей, цифровые модели воздействия аллергенов на человека.
--	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	Реализация интеллектуальных систем синтеза новых медицинских данных, посредством: вариационного автоэнкодера, генеративно-состязательных сетей, комбинированной модели. Описание раздела финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Описание раздела социальной ответственности.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Презентация в формате *.pptx.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская М.В.
Социальная ответственность	Федоренко О.Ю.
Английский язык	Розанова Я.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Литературный обзор	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОИТ	Гергет О.М.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8BM93	Лаптев Владислав Витальевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 110 с., 27 рис., 23 табл., 29 источников, 1 прил.

Ключевые слова: синтетические данные, алгоритм, искусственные нейронные сети, интеллектуальные системы, вариационный автоэнкодер, генеративно-состязательные сети, модель.

Объектом исследования является: интеллектуальные алгоритмы синтеза данных.

Цель работы: реализация интеллектуальных алгоритмов синтеза новых медицинских данных для разных типов задач.

В процессе исследования решались следующие задачи:

- Синтез новых данных числового характера;
- Синтез изображений.

В результате исследования были реализованные такие интеллектуальные модели, как: полносвязный автоэнкодер, полносвязный вариационный автоэнкодер, сверточный вариационный автоэнкодер, сверточный вариационный автоэнкодер с применением трансферного обучения, генеративно-состязательная сеть, комбинированная модель (генеративно-состязательная сеть + вариационный автоэнкодер). Выявлены наилучшие модели для решения каждого рассматриваемого типа задач.

Область применения: машинное обучение, анализ данных, обработка изображений.

Оглавление

Введение.....	10
1 Литературный обзор.....	13
1.1 Синтетические данные	13
1.2 Аугментация данных	14
1.3 Интеллектуальные алгоритмы.....	15
1.4 Вариационный автоэнкодер.....	16
1.5 Генеративно-состязательные сети.....	21
2 Содержательная постановка задачи	25
3 Концептуальная постановка задачи	28
3.1 Представление изображений в медицине.....	28
3.2 Формат медицинских изображений	29
3.3 Числовой формат медицинских данных (аллергены)	29
4 Программная реализация.....	34
4.1 Выбор программного обеспечения	34
4.2 Особенности программной реализации.....	36
4.2.1 Синтез числовых данных	36
4.2.2 Синтез изображений.....	38
5 Статистический анализ результатов.....	46
5.1 Синтез числовых данных	46
5.2 Синтез изображений	48
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	52
6.1 Введение	53
6.2 Предпроектный анализ.....	54
6.2.1 Потенциальные потребители результатов исследования	54
6.2.2 SWOT анализ.....	54

6.2.3	Оценка проекта к коммерциализации.....	56
6.3	Организация и планирование работ	57
6.3.1	Продолжительность этапов работ.....	59
6.3.2	Разработка графика проведения научного исследования....	59
6.4	Расчет сметы затрат на выполнение проекта	65
6.4.1	Расчет затрат на материалы	65
6.4.2	Расчет заработной платы.....	66
6.4.3	Расчет затрат на социальный налог	68
6.4.4	Расчет затрат на электроэнергию	68
6.4.5	Расчет амортизационных расходов.....	69
6.4.6	Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов (кроме суточных).....	71
6.4.7	Расчет прочих расходов	71
6.4.8	Расчет общей себестоимости проекта	72
6.4.9	Расчет прибыли	72
6.4.10	Расчет НДС.....	73
6.4.11	Цена разработки ВКР	73
6.5	Оценка экономической эффективности проекта	73
6.5.1	Оценка научно-технического уровня НИР	73
7	Социальная ответственность.....	77
7.1	Введение	79
7.2	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	80
7.3	Производственная безопасность	82
7.3.1	Отклонение показателей микроклимата от нормы	83
7.3.2	Превышение уровня шума	86
7.3.3	Отсутствие или недостаток освещения	86

7.3.4 Психофизиологические факторы (монотонность труда, нервно-психические перегрузки, перенапряжение зрительных анализаторов).....	89
7.3.5 Поражение электрическим током	91
7.4 Обоснование мероприятий по снижению воздействия вредных производственных факторов.....	91
7.5 Экологическая безопасность	92
7.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	93
7.7 Выводы по разделу «Социальная ответственность».....	95
Заключение	96
Список использованных источников литературы	98
Приложение I (справочное)	101

Введение

В настоящее время машинное обучение набирает все большую популярность. Наиболее востребованными являются алгоритмы машинного зрения способные решать такие популярные задачи, как: классификация изображений [1], детектирование объектов [2], распознавание текстов [3] и т.п. Обучение в свою очередь подразделяют на три типа: обучение с учителем, без учителя, обучение с подкреплением. Самым популярным является обучение с учителем, так как оно позволяет в некоторой мере контролировать процесс обучения на основе обучающих примеров. В основе каждого такого успешного обучения лежит датасет¹ с множеством уникальных примеров. Результирующая точность обучаемой модели напрямую зависит от количества подаваемых «качественных» тренировочных примеров. За частую именно работа с данными, в частности сбор и разметка и является самой сложной и трудоемкой задачей. Для составления «качественного» обучающего датасета разработчики нередко прибегают к алгоритмам аугментации и синтеза новых данных, с целью расширения обучающей выборки. Синтетические или искусственно созданные данные подразумевают, множество уникальных аннотированных примеров, являющихся видоизмененной комбинацией исходной выборки данных. Но и синтетические данные не всегда идеальны (см. рисунок 1). Под буквой «а» представлен вариант оригинального снимка клеток, под буквой «б» представлен вариант искусственно созданных данных с указанием проблемных зон, а именно частичное перекрытие/неполнота объектов. Представленный негативный пример не единственный, существует множество проблем, связанных с синтезом новых данных, вплоть до создания экземпляров, не встречающихся в реальном мире.

¹ Датасет (от англ. Data set) — термин, используемый для файловой системы мейнфреймов от IBM; коллекция из логических записей, хранящихся в виде кортежа.

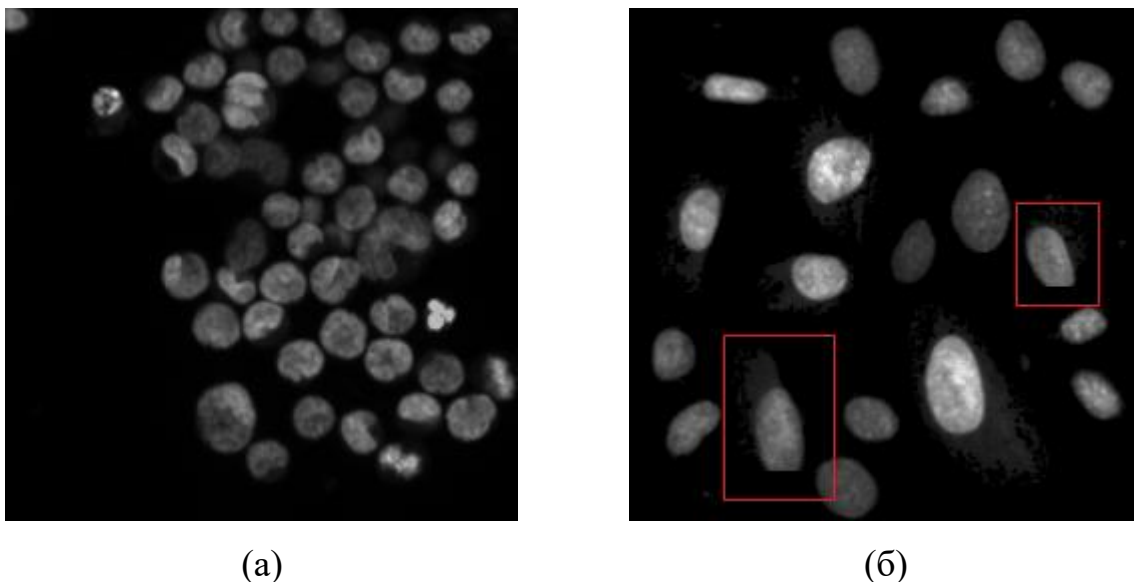


Рисунок 1 - Пример синтетических данных

Практическая ценность работы заключается в повышении уровня автоматизации области обработки и подготовки данных. Реализация методов синтеза данных позволит получить качественные примеры для обучения моделей классификации, обнаружения и трекинга объектов, а также позволит сэкономить время и средства потраченные на составление аннотации к ним.

Целью данной работы являлось изучение и реализация существующих методов синтеза новых данных. А также изучение алгоритмов и методов повышения качества данных. В частности, рассматриваются такие интеллектуальные системы, как: вариационный автоэнкодер, генеративно-сопоставительные сети, а также вариант объединения данных сетей в единую систему.

В ВКР сделано следующее:

1. Изучена предметная область: синтетические данные, алгоритмы синтеза данных;
2. Выполнена постановка содержательной и концептуальных задач;
3. Реализована сеть «вариационный автоэнкодер» для синтеза данных числового характера;
4. Реализована сеть «вариационный автоэнкодер» для синтеза

изображений;

5. Реализована сеть «генеративно-состязательная сеть» для синтеза изображений;

6. Реализована комбинированная модель для синтеза изображений;

7. Выполнен статистический анализ результатов тестирования.

1 Литературный обзор

1.1 Синтетические данные

Синтетические или искусственные данные уже давно стали неотъемлемой частью машинного обучения. Ведь для любого успешного обучения требуется огромное множество качественных уникальных экземпляров данных. В настоящее время существуют примеры, где обучение проводилось только с использованием синтетических данных. Данное решение можно легко объяснить: искусственную созданную информацию проще дополнять и модифицировать. Данные манипуляции проводятся с целью повышения эффективности обучаемой модели. Для проверки эффективности модели, синтетические данные используются редко.

Стоит отметить, о существование ряда задач, связанных с компьютерным зрением, где трудно использовать что-то, кроме синтетического датасета. В настоящее время популярным направлением в робототехнике является разработка беспилотных автомобилей. Для создания такого вида транспорта инженеры прибегают к использованию обучения с подкрепление (reinforcement learning). Данный тип обучения искусственного интеллекта основан на взаимодействии с некоторой средой. Робот (агент) корректирует свои действия основываясь непосредственно на прямом взаимодействии с некоторой средой, получая от нее обратную связь.

Выпустить на улицы города беспилотный транспорт, для его обучения категорически нельзя. Определить методом проб и ошибок, что врезаться в объекты и «давить» пешеходов запрещено не только не гуманно, но и опасно. Для решения данной задачи разработчики (инженеры\проектировщики) используют синтетически созданные данные, а именно — они симулируют окружение в виртуальном пространстве, именуемом «виртуальной средой».

Следующим, а может и основным преимуществом искусственных данных является их «аннотированность». Ведь если мы алгоритмически составляем, к примеру, изображение полки с продуктами в магазине, то уже

на данном этапе мы точно знаем, какой продукт где расположен. Что позволяет нам избежать «ручной разметки» данных.

Также стоит отметить, что помимо множества положительных сторон искусственных данных, у них есть и свои недостатки. Как правило, они считаются менее точными. А обучение на неточных данных, в свою очередь, может привести к получению некачественной модели. Даже при условии генерации на реальных данных имеется шанс получить модель, генерирующую (создающую) правдоподобные, но невоспроизводимые в реальном мире результаты.

1.2 Аугментация данных

Аугментация данных (data augmentation) – это методика создания дополнительных обучающих данных на основе имеющихся данных. Применяя простые математические/матричные преобразования над данными можно получить множество уникальных примеров (см. рисунок 1.1). Существует большое количество алгоритмов аугментации. Самыми популярными являются следующие:

- отражение по горизонтали (horizontal flip);
- случайное кадрирование (random crop);
- случайный поворот (random turn);
- изменение цвета (color jitter).

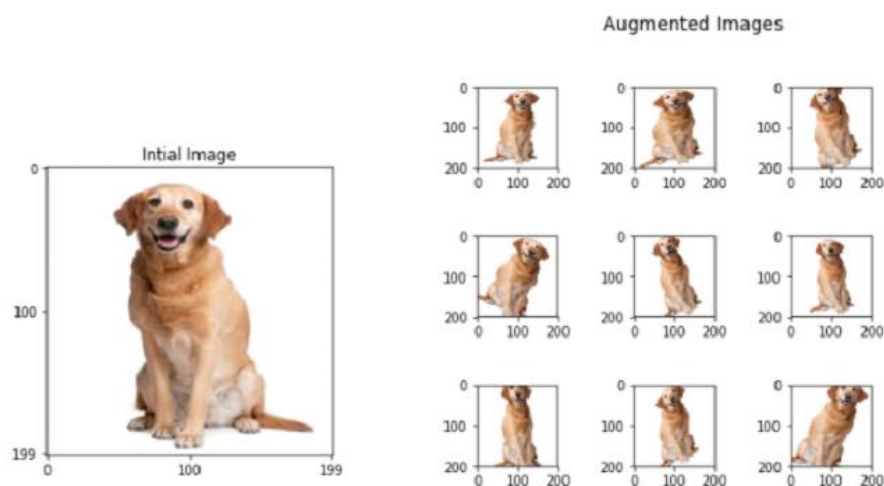


Рисунок 1.1 – пример аугментации данных

Для получения большого количества качественных примеров, можно применять различные комбинации вышеупомянутых методов. К примеру, одновременно выполнять поворот и случайное масштабирование. Также стоит упомянуть о возможности прямого воздействия на пиксели цветового пространства. Например, можно варьировать величину насыщенности (saturation) и значения (value) всех пикселей изображения цветового пространства HSV.

1.3 Интеллектуальные алгоритмы

В машинном обучении (machine learning) алгоритмом именуется набор эвристики и вычислений. Целью данного алгоритма является создание модели на основе обучающего множества (данных).

Для того, чтобы создать модель, алгоритм осуществляет поиск определенных закономерностей и тенденций, иначе этот процесс именуется как поиск или выделения признаков. В более общем смысле этот процесс характеризуется как анализ данных.

Для подбора оптимальных параметров модели интеллектуального анализа данных, в течении множества итераций алгоритм применяет результаты этого анализа (параметры). Затем эти параметры применяются ко всему набору данных, чтобы выявить пригодные к использованию

закономерности и получить подробную статистику. Процесс создания модели именуется обучением модели.

Полученная в результате обучения модель интеллектуального анализа данных, может быть интерпретирована в различные формы представления:

- набор кластеров, описывающих связи вариантов в наборе данных;
- дерево решений, которое предсказывает результат и описывает, какое влияние на этот результат оказывают различные критерии;
- математическая модель, прогнозирующая продажи;
- набор правил, описывающих группирование продуктов в транзакции, а также вероятности одновременной покупки продуктов.

Модель нейронной сети также относится к категории интеллектуальных алгоритмов. Искусственная нейронная сеть (ИНС) – это нечто иное, как последовательность нейронов, соединенных синапсами. Структура искусственной нейронной сети базируется на оригинальной биологической нейронной сети головного мозга человека. Машина приобретает способность анализировать различную информацию именно благодаря данной структуре (строению). Стоит отметить, что ИНС могут не только анализировать поступающую информацию, но и воспроизводить ее из своей памяти. Память нейронной сети представлена в виде математической модели (набор матриц), хранящей информацию о весах каждого нейрона. Нейрон – это вычислительная единица, которая получает информацию и выполняет над ней вычисления. Обработанная информация, передается от нейрона к нейрону, от слоя к слою. Пройдя все нейроны, входная информация преобразуется в выходную (ожидаемую). Выходная информация именуется предсказанием, а результат предсказания – вероятностью.

1.4 Вариационный автоэнкодер

В качестве первого рассматриваемого алгоритма интеллектуального синтеза данных представлен вариационный автоэнкодер. Вариационный

автоэнкодер (Variational Autoencoder – VAE) [4, 5, 6, 7] представляет собой генеративную модель. В основе данной модели лежит структура классического автоэнкодера. Автоэнкодеры представляют собой нейронные сети прямого распространения. Задача автоэнкодера формулируется следующим образом: восстановление входного сигнала на выходе (см. рисунок 1.2). Внутри таких сетей имеется скрытый слой «Code», который отражает латентное представление, описывающее модель. Автоэнкодеры конструируются таким образом, чтобы не иметь возможность точно скопировать вход на выходе. Как правило, их ограничивают в размерности латентного представления. Слой «Code» имеет меньшую размерность относительно размерности входного сигнала. В следствии чего, входной сигнал восстанавливается с ошибками из-за потерь при кодировании. Чтобы минимизировать эти ошибки, сеть вынуждена научиться отбирать наиболее важные признаки. Набор отобранных признаков, хранящихся в «Code» именуется вектором признаков (feature vector).

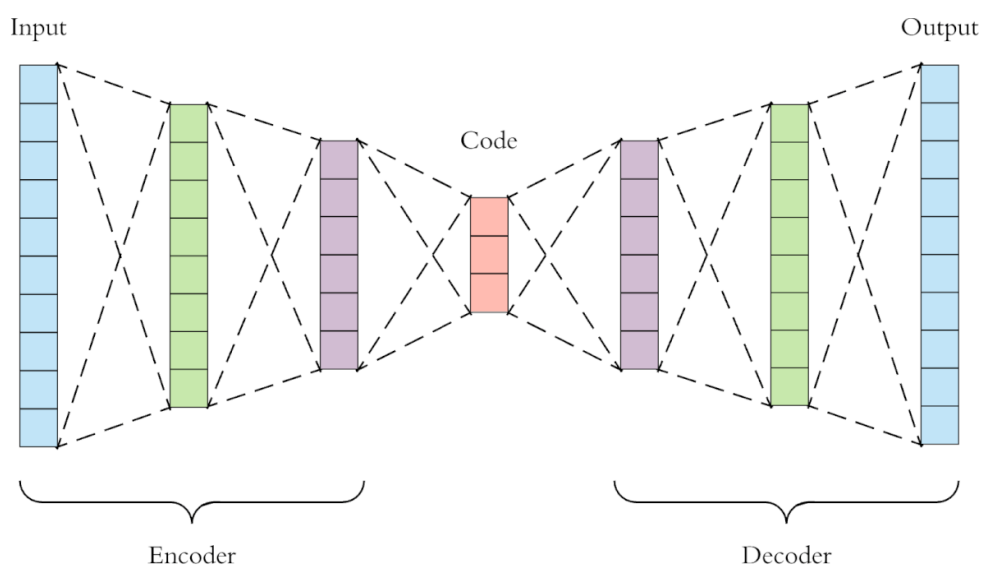


Рисунок 1.2 – Концептуальная схема автоэнкодера

Структуру автоэнкодера разбивают на три основные части: энкодер (g), декодер (f) и латентное представление. Задача энкодера перевести (преобразовать) входной сигнал в его представление («Code», латентное представление):

$$h = g(x)$$

, а декодера восстановить сигнал по его коду:

$$x = f(h)$$

Тем самым автоэнкодер, изменяя f и g , стремится выучить тождественную функцию $x = f(g(x))$, минимизируя определённый функционал ошибки $L(x, f(g(x)))$. При этом семейства функций энкодера g и декодера f ограничены таким образом, чтобы автоэнкодер был вынужден отбирать наиболее важные свойства сигнала. Если не ограничивать структуру автоэнкодера под конкретную задачу или пул задач, то он приспособится к обучающему множеству. Данное явление именуется переобучением и нередко встречается в машинном обучении.

VAE же обладает одним уникальным свойством, которое и отличает его от классических автоэнкодеров. Именно это свойство делает вариационные автоэнкодеры столь полезными при генерации данных. Скрытое пространство VAE по построению является непрерывным, что позволяет им выполнять случайные преобразования и проводить интерполяцию.

Для достижения непрерывности скрытого пространства энкодеру необходимо выдать не один вектор размера n , а два вектора размера n : вектор средних значений μ и вектор стандартных отклонений σ (см. рисунок 1.3).

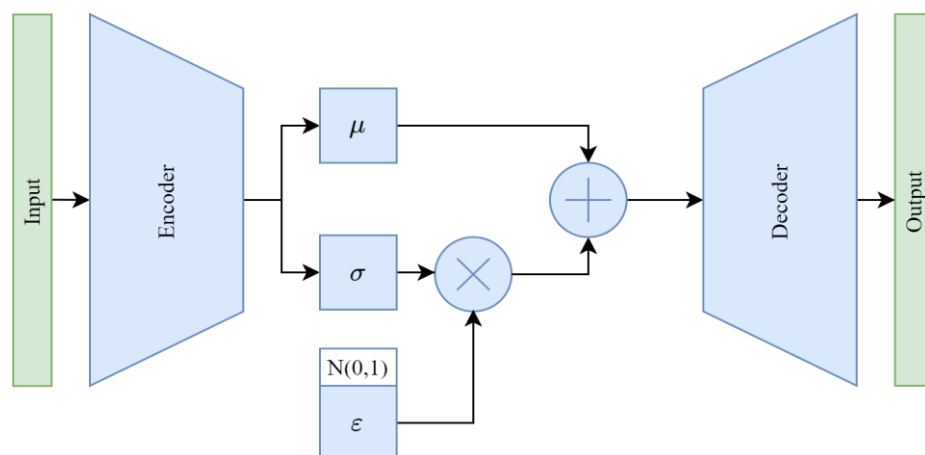


Рисунок 1.3 – Концептуальная схема вариационного автоэнкодера

Вариационные автоэнкодеры формируют параметры вектора длины n из случайных величин X_i , причем i – элементы векторов μ и σ являются средним и стандартным отклонением i – й случайной величины X_i . Вместе эти величины образуют n – мерный случайный вектор, который и посылается на декодер для восстановления данных. Данная процедура именуется стохастической генерацией.

Стохастическая генерация означает, что даже для одинаковых входных данных результат кодирования будет различным. Так как в создании вектора кодирования присутствует случайная величина.

Особого внимания требуют и сами вектора. Параметр вектора средних значений μ определяет точку, вблизи которой будет вершина, кодируемого вектора. Параметр вектора стандартных отклонений σ задает расстояние и определяет насколько далеко может отстоять вершина от этого среднего. Таким образом, вершина вектора кодирования может лежать внутри n – мерного круга (см. рисунок 1.4).

Благодаря такому подходу входному объекту соответствует не одна точка в скрытом пространстве, а некоторая непрерывная область. Такая комбинация позволяет декодеру работать не с одним единственным вектором кодирования, соответствующему входным данным, а с их набором, благодаря чему в восстановление даже одного изображения вносится доля вариативности.

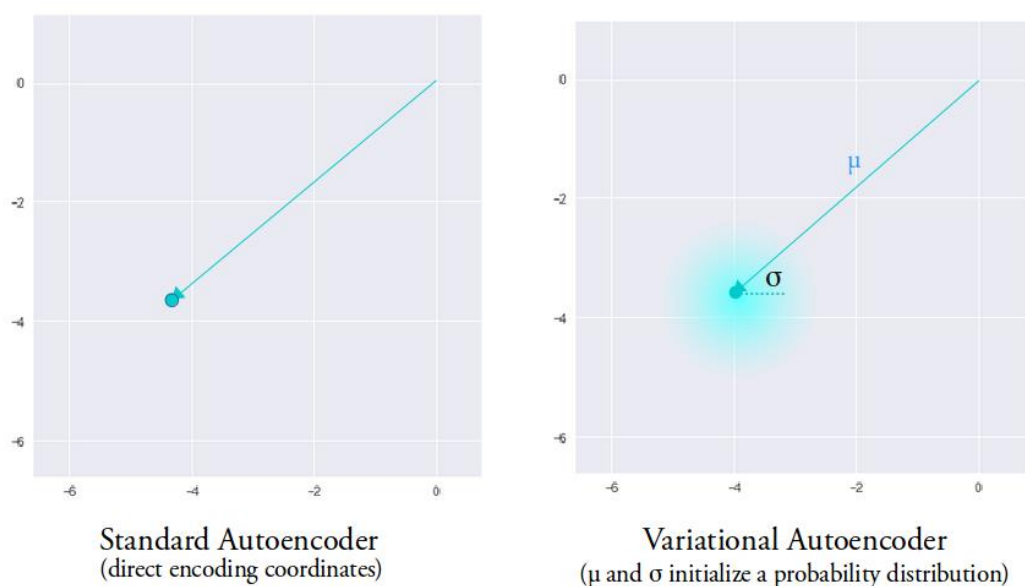


Рисунок 1.4 – Кодирование автоэнкодера и вариационного автоэнкодера

Чтобы достичь цели по созданию непрерывного скрытого пространства, где все области располагаются как можно ближе друг к другу, но при этом остаются различимы как отдельные составляющие необходимо ввести следующие понятие: Kullback–Leibler расхожимость (*KL divergence*).

KL расхожимость между двумя функциями распределения показывает насколько сильно они отличаются друг от друга. Минимизация *KL* расхожимости означает оптимизацию параметров распределения μ и σ таким образом, что они становятся близки к параметрам целевого распределения. При выполнении данного условия можно производить гладкую интерполяцию и создавать новые данные на выходе.

Для VAE *KL* потери эквивалентны сумме всех *KL* расхожимостей между распределением компонент $X_i \sim N(\mu_i, \sigma_i^2)$ в векторе X и нормальным распределением. Минимум достигается, когда $\mu_i = 0$ и $\sigma_i = 1$. Как видно, учёт *KL* потерь заставляет энкодер помещать каждую отдельную область кодирования в окрестности некоторой точки в скрытом пространстве. При использовании *KL* потерь области кодирования расположены случайным образом в окрестности выделенной точки в скрытом пространстве со слабым

учётом сходства между образцами входных данных. Поэтому декодер не способен извлечь что-либо значащее из этого пространства.

Стоит отметить, что, оптимизируя и энкодер и декодер, будет получено скрытое пространство, которое отражает схожесть соседних векторов на глобальном уровне. Полученное скрытое пространство будет иметь вид плотно расположенных областей возле начала координат скрытого пространства.

VAE находит применение во многих областях исследований: от генерации новых человеческих до создания полностью искусственной музыки. Опираясь на входные данные VAE способен создавать картины, имитируя оригинальный почерк художника, писать стихи подобно великим поэтам и много другое.

1.5 Генеративно-состязательные сети

Генеративно-состязательные сети (Generative adversarial network – GAN) [8, 9, 10] как видно из названия также относятся к генеративным ИНС. Архитектура GAN основана на двух независимых нейронных сетях: генератор и дискриминатор. Обе части сети настроены работать друг против друга, отсюда и название генеративно-состязательные сети.

Генератор семплирует² случайные числа из некоторого распределения $P(Z)$, входного шума, например $N(0, 1)$ и генерирует из них объекты

$$X_p = G(Z; \theta_g)$$

, а дискриминатор, получая на вход семплы от оригинальной выборки X_s и генератора X_p , учится предсказывать природу семпла (откуда он пришел), выдавая на выходе скаляр $D(X; \theta_d)$. На рисунке 1.5 представлена классическая структура GAN.

² Семплирование — метод отбора объектов из выборки, где самыми информативными объектами считаются те, на которых текущий алгоритм меньше всего уверен в верности классификации.

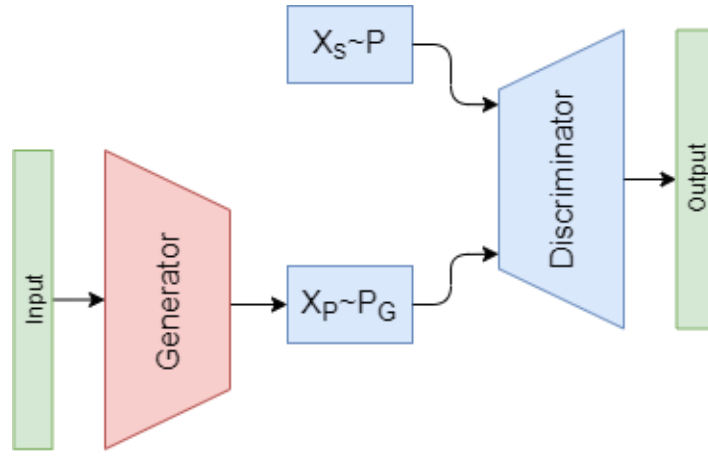


Рисунок 1.5 – Классическая архитектура GAN

Процесс обучения GAN можно представить в виде следующего алгоритма (генератор и дискриминатор обучаются отдельно, но в рамках одной сети):

Шаг 1. Задаем произвольный начальный шум $G(Z)$.

Шаг 2. Обучаем дискриминатор, параметры θ_d обновляются в сторону уменьшения бинарной кросс-энтропии (BCE сокр. от Binary Cross Entropy):

$$BCE = -\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N y_i \cdot \log(\hat{y}_i) + (1 - y_i) \cdot \log(1 - \hat{y}_i)$$

$$\theta_d = \theta_d - \nabla_{\theta_d} (\log(D(X_s)) + \log(1 - D(G(Z))))$$

Шаг 3. Обучение генератора, обновляем параметры генератора θ_g в сторону увеличения логарифма вероятности, а дискриминатору присвоить сгенерированному объекту лейбл реального:

$$\theta_g = \theta_g + \nabla_{\theta_g} (\log(1 - D(G(Z))))$$

Задачу, что решает GAN можно сформулировать следующим образом:

$$\min_G \max_D E_{X \sim P} [\log(D(X))] + E_{Z \sim P_Z} [\log(1 - D(G(Z)))]$$

При заданном генераторе оптимальный дискриминатор выдает вероятность:

$$D(X) = \frac{P(X)}{P_g(X) + P(X)}$$

В своей работе Ian J. Goodfellow [8] показывает, что при достаточной мощности обеих сетей у данной задачи есть оптимум, в котором генератор научится генерировать распределение $P_g(X)$, совпадающее с $P(X)$, а дискриминатор на любое X выдает вероятность 0,5. На Рисунке 1.6 приведена иллюстрация процесса тренировки порождающих состязательных сетей GAN из [8]. Где:

- черная точечная кривая – настоящее распределение $P(X)$;
- зеленая – распределение генератора $P_g(X)$;
- синяя – распределение вероятности $D(X; \theta_d)$ дискриминатора предсказать принадлежность объекта.

В результате многократного повторения шагов а, б, с $P_g(X)$ совпало с $P(X)$ и дискриминатор не способен отличить одно от другого.

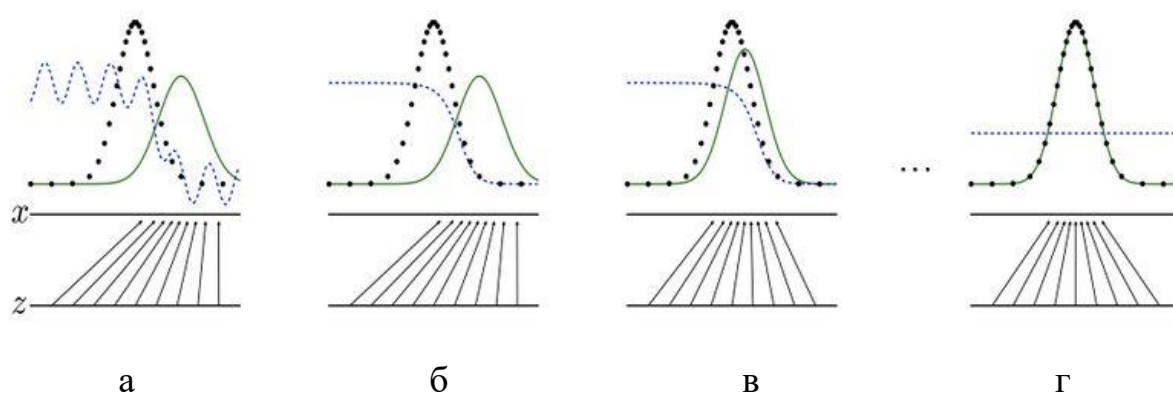


Рисунок 1.6 – Иллюстрация процесса тренировки GAN

Потенциал GAN огромен, поскольку они способны имитировать любое распределение данных. GAN обучают создавать структуры, неотличимые от реальных объектов окружающего мира в области изображений, музыки, речи, прозы. Генеративно-состязательные сети, в некотором смысле, роботы-художники, и результат их работы впечатляет. Кроме того, GAN может использоваться для улучшения

качества нечётких или частично испорченных фотографий. Что достигается путем обучения сети создавать объекты не из случайного шума, а на основе входных данных. GAN способны, анализируя входные данные, приумножают варианты использования. Генеративно-состязательные сети могут дорабатывать тексты, писать картины на основе набросков, изменять природу объектов, восстанавливать поврежденные тексты. Стоит отметить, что полезными свойствами обладает не только генератор, но и дискриминатор. Дискриминатор обучен отличать реальные объекты от синтетических, что делает его хорошим помощником в области сравнения.

2 Содержательная постановка задачи

В настоящее время одним из наиболее актуальных и важных направлений цифровой обработки изображений является обработка медицинских изображений.

Спрос на аппаратные и программные средства визуализации медицинских данных возрастает в условиях постоянного развития медицины и методов диагностики. На сегодняшний день такие средства диагностики, как КТ, МРТ, ЭхоКГ, РКА и ПЭТ, становятся неотделимы от компьютерных методов обработки и визуализации данных.

На данный момент анализ медицинских изображений происходит как вручную, так и автоматически. Сегодня ручное выделение контуров является популярной техникой при выполнении сегментации, детектирования или трекинга. Но стоит отметить, что ручное выделение контуров довольно рутинная и трудная задача. Кроме того, ее результаты оцениваются только зрительно. Данная оценка является субъективной и может привести к большим проблемам с учетом психологической и физической нагрузки.

Медицинские изображения часто требуют предварительной обработки из-за наличия разных факторов, которые мешают проводить анализ: блики, дефекты, размытия, шумы и т.п. Подобные методы требуются для повышения качества автоматического анализа разными медицинскими программами, а также повышения эффективности визуального анализа врачом.

Обработку медицинских изображений можно разделить на следующие этапы:

- отбор и загрузка данных;
- фильтрация изображений;
- изменение резкости;
- обработка (обнаружение и выделение объекта(ов));
- статистический анализ или оценка точности результатов.

Следующей актуальным направлением является обработка числовых данных. В данной работе рассмотрен пример обработки данных статистики воздействия аллергенов на человека. Данные такого характера также имеют свои особенности и требуют предварительной обработки в виде нормировки данных. Из-за нестабильных границ каждого параметра выбрана следующее уравнение нормировки данных:

$$\hat{x}(t) = \frac{x(t) - \min\{X\}}{\max\{X\} - \min\{X\}},$$

где $\min\{X\}$ и $\max\{X\}$ обозначают соответственно минимальный и максимальный элементы из X .

Обе задачи для анализа требуют большого объема данных, а сбор и разметка являются точным и сложным моментом. Интеллектуальные алгоритмы синтеза данных позволят расширить обучающую выборку множеством новых уникальных примеров. А в случае работы с изображением выступают в роли дополнительного фильтра, позволяющего устранить шумы изображений.

Каждый из рассматриваемых интеллектуальных алгоритмов синтеза данных уникален. Большой же интерес вызывает вариационный автоэнкодер в силу того, что синтез новых данных осуществляется непосредственно на основе входных данных, а не обучающий выборки в целом, как это происходит в генеративно-сопоставительных сетях, что позволяет контролировать процесс синтеза определенных признаков. Что может быть особенно важно при расширении датасета воздействия аллергенов на человека. Генеративно-сопоставительные сети имеют не меньший интерес в синтезе данных, особенно в задаче синтеза новых медицинских изображений. Так как в силу своей непредсказуемости могут создавать абсолютно уникальные примеры ориентируясь на обучающий датасет. Также стоит отметить научную ценность объединения двух алгоритмов в единую систему, что позволит получить уникальные свойства каждой из них, а именно большую вариативную способность и высокое качество выходных данных за счет

обучения в конкурирующей обстановке, а также синтез основанный на входных данных, для контроля интересующих признаков).

3 Концептуальная постановка задачи

Медицинские изображения (данные) предоставляют необходимый объем информации о пациенте, для извлечения которой требуется анализ. Для обучения интеллектуальной системы анализа таких данных, требуется большое множество качественных, аннотированных примеров. В связи со спецификой данных, получить их большое количество весьма сложная задача. К примеру, один экземпляр МРТ снимка сердца – одна операция на человеке. А один экземпляр влияния аллергенов на человека – один пациент с возможными осложнениями.

Задачей генератора данных является синтез новых обучающих и тестовых примеров, необходимых для обучения интеллектуальных моделей анализа данных.

В данной работе основная задача сводится к реализации интеллектуальных систем синтеза новых медицинских данных при помощи моделей:

- Вариационный автоэнкодер;
- Генеративно-сопоставительная сеть;
- Комбинированная модель.

3.1 Представление изображений в медицине

Технология получения изображений структуры внутренних органов человека принципиально изменилась в течение двух последних десятилетий. Пару десятилетий назад достаточно было наложить тени на изображения для получения рентген-снимка. Конечно, качество, контрастность и глубина объектов оставляли желать лучшего. Однако сейчас, с помощью средств цифровых вычислительных систем появилась возможность развития новейших методов получения изображений органов человека:

- Компьютерная томография;

- Магнитно-резонансная томография;
- Позитронно-эмиссионная томография.

Теперь используя конкретные характеристики анатомии тела человека, можно получать качественные снимки сечений его тела с помощью современной аппаратуры – томографов. Отличительной особенностью выполнения МРТ-снимков с помощью томографов является то, что изображения различных органов не накладываются друг на друга, а также с большой точностью представляют органы человека. Кроме того, томографическая аппаратура с определенными настройками позволяет реконструировать структуру органов по множеству снимков [12].

3.2 Формат медицинских изображений

Современные рентгенографические технологии обладают способностью производить цифровую обработку рентгеновского изображения и сразу выводить на экран монитора или записывающее устройство с записью изображения. Пример изображения представлен на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Пример медицинских изображений флюороскопии

В общей сложности имеется 540 различных изображений в формате .png

3.3 Числовой формат медицинских данных (аллергены)

Исходные данные об аллергических реакциях представлены в виде таблица MS Excel. В общей сложности имеется 1160 записей, где одна запись равна один пациент. Для каждого пациента указан ID, пол, возраст, дата рождения, дата сдачи анализа и город. Кроме того, каждому пациенту

поставлен в соответствие перечень аллергенов (125 шт.), где на пересечении записана реакция на данный аллерген (какое-либо число или отсутствие числа, если реакции нет). Аллергены разделены по видам и источникам. Формат данных представлен на рисунке 3.2.

	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12
1							Пищевые продукты		Пищевые аллергены еще будут появляться		
2							Белок яйца			Желток/куриное мясо	Коровье
3	ШИФР	Пол	Возраст	Дата рождения	Дата сдачи	Город	nGal d 1	nGal d 2	nGal d 3	nGal d 5	nBos d 4
4	1	женский	29	03.01.1984	03.10.2013	Кириши					
5	2	мужской	9	08.01.2004	15.10.2013	СПб					
6	3	женский	18	18.12.1995	06.05.2014	СПб					
7	4	мужской	38	15.10.1975	10.12.2013	Екатеринбург					
8	5	женский	6	04.07.2007	19.02.2014	СПб					
9	6	мужской	5	01.11.2008	15.03.2014	СПб					
10	7	женский	39	14.07.1974	27.03.2014	Кириши					
11	8	мужской	21	06.02.1993	15.03.2014	СПб					
12	9	мужской	3	26.09.2010	02.02.2014	Екатеринбург					
13	10	мужской	46	06.10.1967	14.03.2014	СПб					
14	11	женский	43			СПб					
15	12	мужской	31	22.01.1983	25.01.2014	СПб					
16	13	мужской	13	17.08.2000	24.03.2014	СПб					
17	14	мужской	29	17.06.1984	22.11.2013	СПб					
18	15	мужской	24	04.06.1989	10.12.2013	СПб					
19	16	женский	43	26.12.1969	04.12.2013	СПб					
20	17	женский	6	15.04.2007	20.10.2013	СПб					
21	18	мужской	5	27.01.2009	01.05.2014	Кириши					

Рисунок 3.2 – Пример исходных данных (аллергены)

Исходные данные имеют сложную структуру, что затрудняет процесс исследования. Поэтому было принято решение разделить главную таблицу на несколько специализированных: люди, аллергены и реакции.

В первую таблицу запишем все данные о людях (ШИФР, Пол, возраст, Дата рождения, Дата сдачи, Город). Таблица представлена на рисунке 3.3.

	1	2	3	4	5	6
1	id	gender	age	birth_date	test_date	city
2	1	женский	29	03.01.1984	03.10.2013	Кириши
3	2	мужской	9	08.01.2004	15.10.2013	СПб
4	3	женский	18	18.12.1995	06.05.2014	СПб
5	4	мужской	38	15.10.1975	10.12.2013	Екатеринбург
6	5	женский	6	04.07.2007	19.02.2014	СПб
7	6	мужской	5	01.11.2008	15.03.2014	СПб
8	7	женский	39	14.07.1974	27.03.2014	Кириши
9	8	мужской	21	06.02.1993	15.03.2014	СПб
10	9	мужской	3	26.09.2010	02.02.2014	Екатеринбург
11	10	мужской	46	06.10.1967	14.03.2014	СПб
12	11	женский	43			СПб
13	12	мужской	31	22.01.1983	25.01.2014	СПб
14	13	мужской	13	17.08.2000	24.03.2014	СПб
15	14	мужской	29	17.06.1984	22.11.2013	СПб
16	15	мужской	24	04.06.1989	10.12.2013	СПб
17	16	женский	43	26.12.1969	04.12.2013	СПб
18	17	женский	6	15.04.2007	20.10.2013	СПб
19	18	мужской	5	27.01.2009	01.05.2014	Пушкин
20	19	женский	6	14.11.2007	14.04.2014	Конаково
21	20	женский	8	28.11.2005	22.01.2014	Москва
22	21	женский	42	24.04.1971	14.12.2013	Колпино
23	22	мужской	10	11.04.2003	11.12.2013	СПб

Рисунок 3.3 – Информация о людях

Во вторую таблицу запишем информацию об аллергенах (component, description, class, group). Таблица представлена на рисунке 3.4.

1	component	description	class	group
2	nGal d 1	Белок яйца	Пищевые продукты	
3	nGal d 2	Белок яйца	Пищевые продукты	
4	nGal d 3	Белок яйца	Пищевые продукты	
5	nGal d 5	Желток/куриное мясо	Пищевые продукты	
6	nBos d 4	Коровье молоко	Пищевые продукты	
7	nBos d 5	Коровье молоко	Пищевые продукты	
8	nBos d 8	Коровье молоко	Пищевые продукты	
9	nBos d lactoferrin	Коровье молоко	Пищевые продукты	
10	rGad c 1	Треска	Пищевые продукты	
11	nPen m 2	Креветка	Пищевые продукты	
12	nPen m 4	Креветка	Пищевые продукты	
13	rAna o 2	Кешью	Пищевые продукты	
14	rBer e 1	Бразильский орех	Пищевые продукты	
15	nCor a 9	Фундук	Пищевые продукты	
16	rJug r 1	Грецкий орех	Пищевые продукты	
17	nJug r 2	Грецкий орех	Пищевые продукты	
18	nSes i 1	Кунжут	Пищевые продукты	
19	rAra h 1	Арахис	Пищевые продукты	
20	rAra h 2	Арахис	Пищевые продукты	
21	rAra h 3	Арахис	Пищевые продукты	
22	nAra h 6	Арахис	Пищевые продукты	
23	nGly m 5	Соевые бобы	Пищевые продукты	
24	nGly m 6	Соевые бобы	Пищевые продукты	
25	nFag e 2	Гречиха, гречневая мука	Пищевые продукты	
26	rTri a 19.0101	Пшеница	Пищевые продукты	
27	nTri a aA_T1	Пшеница	Пищевые продукты	
28	nAct d 1	Киви	Пищевые продукты	
29	nAct d 5	Киви	Пищевые продукты	
30	nCyn d 1	Свиной	Ингаляционные аллергены	Пыльца растений
31	rPhl p 1	Тимофеевка	Ингаляционные аллергены	Пыльца растений
32	rPhl p 2		Ингаляционные аллергены	Пыльца растений

Рисунок 3.4 – Информация об аллергенах

В последней таблице запишем все реакции пациентов на аллергены (id, component, rc_amount). Таблица представлена на рисунке 3.5.

	1	2	3
1	id	component	rc_amount
2	1	nGal d 1	0
3	1	nGal d 2	0
4	1	nGal d 3	0
5	1	nGal d 5	0
6	1	nBos d 4	0
7	1	nBos d 5	0
8	1	nBos d 8	0
9	1	nBos d lactoferrin	0
10	1	rGad c 1	0
11	1	nPen m 2	0
12	1	nPen m 4	0
13	1	rAna o 2	0
14	1	rBer e 1	0
15	1	nCor a 9	0
16	1	rJug r 1	0
17	1	nJug r 2	0
18	1	nSes i 1	0
19	1	rAra h 1	0
20	1	rAra h 2	0
21	1	rAra h 3	0

Рисунок 3.5 – Информация о реакциях

В свою очередь таблица люди также была подразделена на ключевые группы:

1. Возрастная категория (0-20, 21-40, 41-85);
2. Пол;
3. Город проживания;

Данное разделение проведено с целью выделить некие зависимости, что в дальнейшем станет ключевым признаком для синтеза новых данных. В результате имеем:

1. Реакция на аллерген «rBet v 1» (берёза) наблюдается у большого числа пациентов из разных городов;
2. Реакция на аллерген «nAmb a1» (амброзия) часто встречается в городах Ростов-на-Дону и Ставрополь, которые находятся в соседних регионах;
3. Реакций на аллерген «rBet v 1» (берёза) является самой частой и в

одинаковой степени наблюдается в каждой из основных возрастных групп;

4. аллерген «rPhl p 1» (Тимофеевка) чаще встречается у людей средней и старшей возрастной группы (возраст>30);

5. В крупных городах (Москва, Екатеринбург, Санкт-Петербург) наблюдается один и тот же перечень аллергенов.

6. Для возрастной группы (0, 20) аллерген «rPhl p 1» (Тимофеевка) не входит в пятёрку наиболее частых, в отличие от групп (21, 40) и (41, 85).

4 Программная реализация

4.1 Выбор программного обеспечения

Обработка медицинских данных осуществлялась на компьютере с операционной системой Linux, оперативной памятью 32 Гб, процессором Intel Core i5-7500 BOX, 3400 МГц и видеокартой GEFORCE RTX 2080 Ti.

Для обработки данных и реализации интеллектуальных моделей был выбран язык Python и среда разработки PyCharm.

Python является высокоуровневым языком программирования общего назначения. Основная ориентированность приходится на повышение производительности разработчика и читаемость кода. Синтаксис ядра Python минималистичен. Но стоит отметить, что стандартная библиотека включает большой объём полезных функций.

Python поддерживает структурное, объектно-ориентированное, функциональное, императивное и аспектно-ориентированное программирование. Основные архитектурные черты – динамическая типизация, автоматическое управление памятью, полная интроспекция, механизм обработки исключений, поддержка многопоточных вычислений, высокоуровневые структуры данных. Поддерживается разбиение программ на модули, которые, в свою очередь, могут объединяться в пакеты.

Python современный и активно развивающийся язык программирования. Новые версии с добавлением и (или) изменением языковых свойств выходят на постоянной основе примерно два раза год. Стоит отметить, что язык не подвергался официальной стандартизации, роль стандарта на текущее время выполняет CPython, разрабатываемый под контролем автора языка. В настоящий момент Python занимает второе место в рейтинге TIOBE с показателем 12%. Это самый высокий показатель за все присутствие в рейтинге, что еще раз доказывает его актуальность и возрастающий интерес.

Одной из основных особенностей языка Python – это поддержка множества библиотек и фреймворков. Python поддерживает работу с

библиотекой глубокого машинного обучения TensorFlow, что является особенно важным для поставленной задачи.

TensorFlow (TF) – это комплексная платформа с открытым исходным кодом для машинного обучения. Данная библиотека имеет всеобъемлющую, гибкую экосистему инструментов, библиотек и ресурсов сообщества, что позволяет исследователям использовать самые современные технологии ML. Стоит отметить простоту использования и наличие понятной документации, что позволяет разработчикам легко создавать и развертывать приложения на базе ML.

Tensorflow довольно молодой фреймворк для глубокого машинного обучения, разрабатываемый в Google Brain. В открытое пользование фреймворк был выпущен 9 ноября 2015 года, до этого времени проект разрабатывался в закрытом режиме под названием DistBelief. За год с небольшим TF дорос до версии 1.0, обрел интеграцию с keras, стал значительно быстрее и получил поддержку мобильных платформ. В последнее время фреймворк развивается еще и в сторону классических методов, и в некоторых частях интерфейса уже чем-то напоминает scikit-learn. До текущей версии интерфейс менялся активно и часто, но разработчики пообещали заморозить изменения в API. На текущий момент фреймворк обрел обертку в виде библиотеки keras и tensorflow-addons. Текущая версия имеет номер 2.3, а обновления выходят примерно раз в полгода, поддерживая легкую интеграцию с Python.

Работа с TF строится вокруг построения и выполнения графа вычислений. Граф вычислений – это конструкция, которая описывает то, каким образом будут проводиться вычисления. В классическом императивном программировании, код выполняется построчно. В TF привычный императивный подход к программированию необходим только для каких-то вспомогательных целей. Основа TF – это создание структуры, задающей порядок вычислений. Программы естественным образом структурируются на

две части – составление графа вычислений и выполнение вычислений в созданных структурах.

Граф вычислений состоит из плейсхолдеров, переменных и операций. Основная задача такого графа вычислять тензоры. Тензоры – это многомерные массивы, они служат «топливом» для графа. Тензором может быть, как отдельное число, так и вектор признаков из решаемой задачи или целое изображение. Стоит отметить, что граф TF не ограничивается возможностью обработки одного объекта, производить вычисления можно целыми батчами описаний объектов или массивами из изображений. Передав в граф массив объектов, будет вычислен массив ответов, что очень удобно, так как при наличии вычислительной машины с возможностью параллельных вычислений можно достигнуть высокой скорости обработки данных. Работа TF с тензорами похожа на то, как обрабатывает массивы `numpy`, в функциях которого можно указать ось массива, относительно которой будет выполняться вычисление.

4.2 Особенности программной реализации

4.2.1 Синтез числовых данных

Для решения задачи по генерации числовых данных (влияние аллергенов на человека) генеративно-состязательные сети не подходят, так как они не опираются на определенные качества, что несомненно важно для решения поставленной задачи. Вариационный автоэнкодер и комбинированная модель отлично подходят для данной задачи, так как могут создавать n примеров на каждый интересующий входной экземпляр данных. Что может позволить уравновесить выборку данных по каждому интересующему критерию.

4.2.1.1 Вариационный автоэнкодер

Полносвязный автоэнкодер

В силу специфики данных (125 параметров на один входной экземпляр) сделано предположение, что реализации полносвязного автоэнкодера должно быть достаточно.

Как было сказано в литературном обзоре, вариационный автоэнкодер тесно связан с классическим автоэнкодером. В силу выше сказанного реализован автоэнкодер базирующийся на полносвязных слоях (см. рисунок 4.1). Общее число параметров сети составило 18 855.

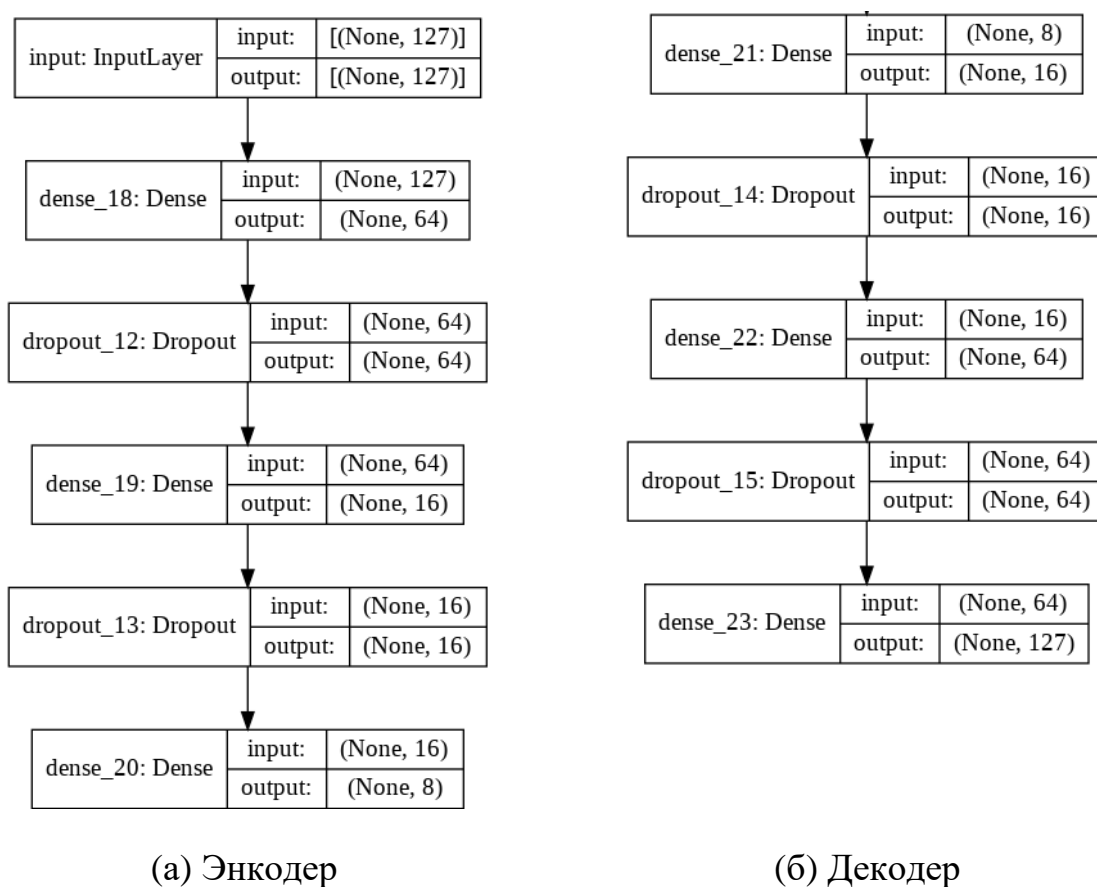


Рисунок 4.1 – Архитектура полносвязного автоэнкодера

Данный автоэнкодер отлично справился с поставленной задачей. Модель сходится уже на 26 эпохе обучения, с показателем ошибки менее 5%, что означает возможность перехода к реализации полносвязного вариационного автоэнкодера (результаты отражены в главе 5).

Полносвязный вариационный автоэнкодер

Для перехода к вариационному автоэнкодеру потребовалось внести изменения в структуру модели (см. рисунок 4.2), а также реализовать функцию семплирования данных и обновить функционал функции ошибки.

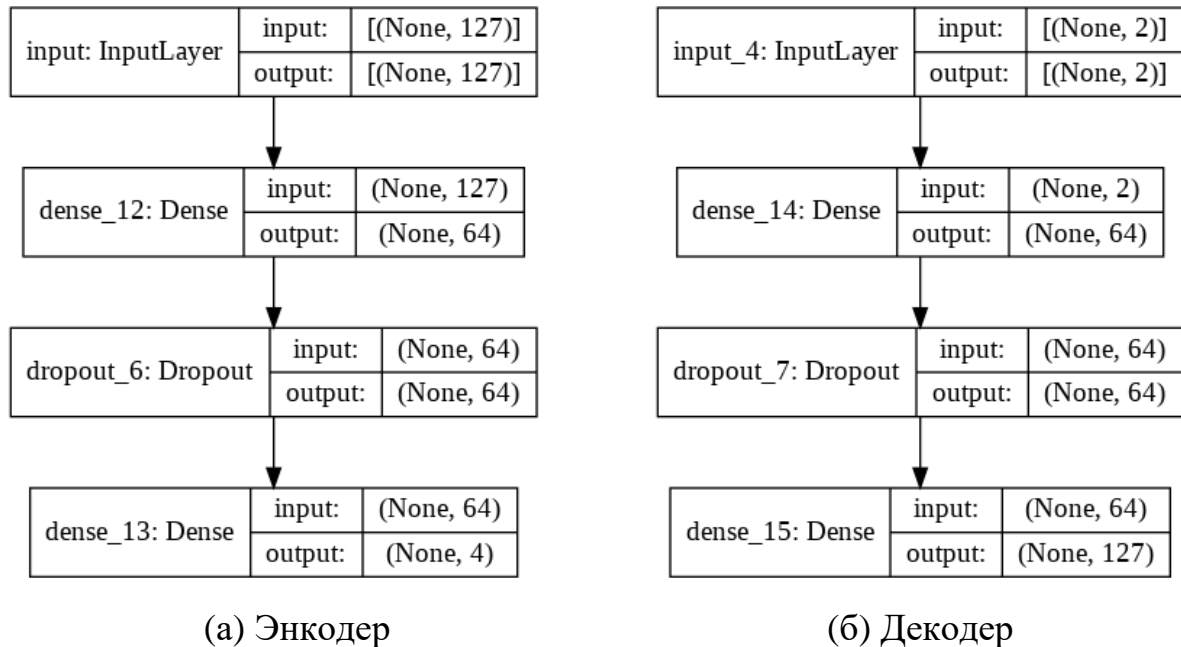


Рисунок 4.2 – Архитектура полносвязного вариационного автоэнкодера

Представленная модель полностью справилась с поставленной задачей (результаты отражены в главе 5). Также стоит отметить, что данная модель имеет всего 16 899 обучаемых параметров, что на 1 955 меньше чем у классического автоэнкодера. В силу простоты задачи и реализации качественного решения принято решение не реализовать комбинированную модель для данной задачи.

4.2.2 Синтез изображений

В ходе анализа поставленной задачи, выявлено, что в качестве решения могут быть использованы все три исследуемые модели интеллектуального синтеза данных. Для обработки изображения формата 512×512 пикселей принято решение провести предварительную обработку с целью минимизировать вычислительные ресурсы. Изображение было предварительно уменьшено до размера 224×224 пикселя, а также приведено

к одноканальному формату (градации серого), так как это не повлияет на качество конечного результата.

4.2.2.1 Вариационный автоэнкодер

Полносвязный вариационный автоэнкодер

В качестве одной из архитектур вариационного автоэнкодера использовался подход полносвязных слоёв, в силу своего успеха при решении предыдущей задачи. Архитектура модели представлена на рисунке 4.3. Общее количество обучаемых весов данной архитектуры составило 51 480 640.

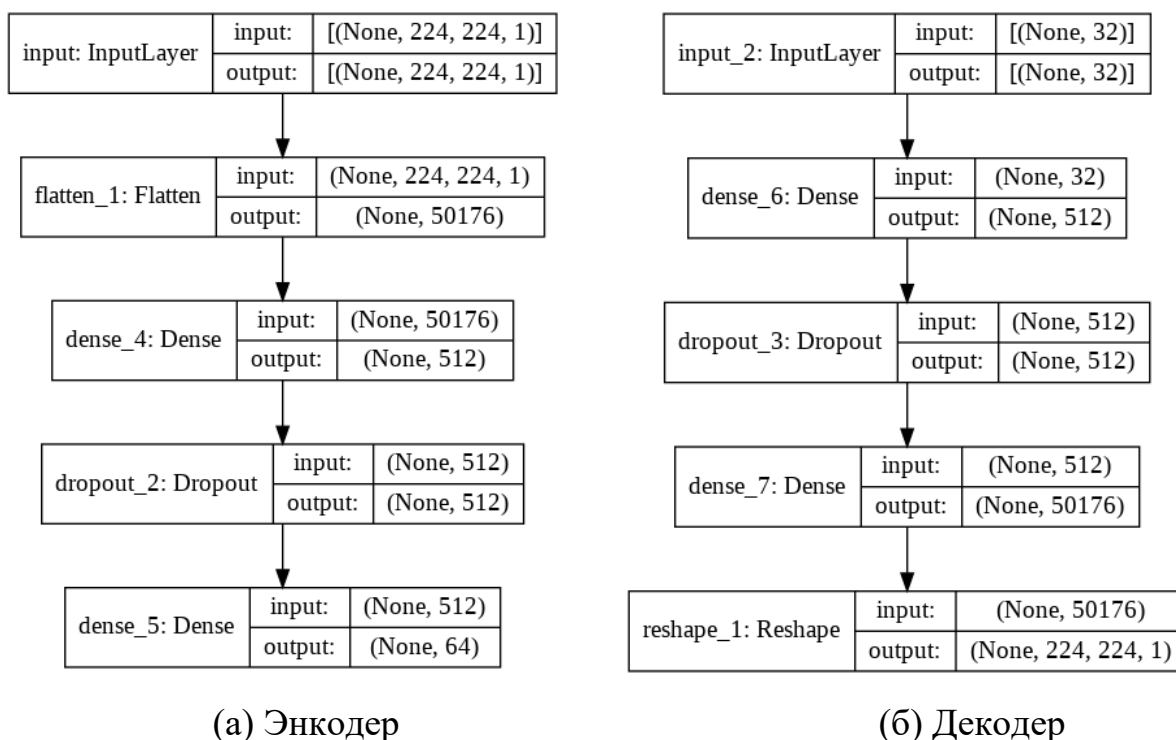


Рисунок 4.3 – Архитектура полносвязного вариационного автоэнкодера

При обучении модели, основанной на полносвязном вариационном автоэнкодере, функция потерь не сходилась, что привело к слабой обобщающей способности. Большое число обучающих параметров потребовало не только большое количество вычислительных ресурсов, но и большое количество времени для обучения модели.

Сверточный вариационный автоэнкодер

Исходя из негативных результатов полносвязной архитектуры вариационного автоэнкодера, было принято решение реализовать собственную глубокую архитектуру сети (см. рисунок 4.4), базирующуюся на обучаемых сверточных и деконволюционных слоях. Разрабатываемая архитектура имеет U-net подобное строение. Стоит отметить, что глубокий сверточный вариационный автоэнкодер, включающий 5 уровней понижения размерности, имел примерно в 50 раз меньше весов по сравнению с полносвязным аналогом. Общее количество обучаемых весов данной архитектуры составило 1 048 833.

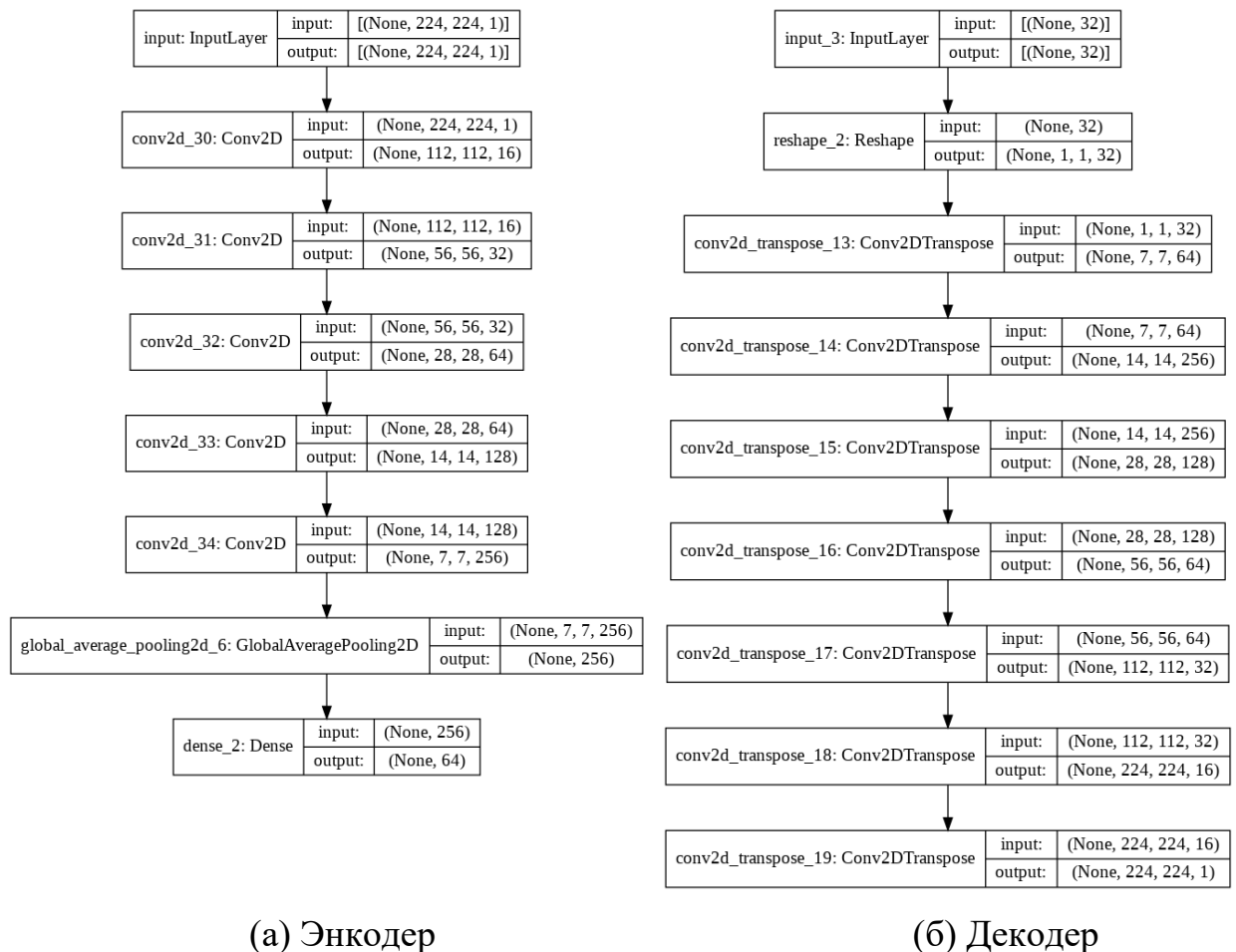


Рисунок 4.4 – Архитектура сверточного вариационного автоэнкодера

Данная модель показала результаты много лучше полносвязного аналога (см. глава 5). В ходе обучения модель сходится, а функционал ошибки имеет

незначительную величину. Стоит отметить, что при визуальном анализе результата наблюдаются неточности восстановленного изображения, а также размытость присущая семейству вариационных автоэнкодеров

Сверточный вариационный автоэнкодер с использованием предварительно обученной модели

Так как предыдущая модель все еще не предоставляла желаемого результата было принято решение усовершенствовать ее. Так как были замечены потери входных признаков, принято решение заменить модель собственного энкодера на предварительно обученную модель (transfer learning). Данная замена выполнена с целью усиления качества составления вектора признаков. На рисунке 4.5 представлена архитектура полученной модели. Общее число обучаемых параметров составило 58 077 903. Стоит отметить, что предварительно обученная модель выделения признаков в энкодере использовалась с функцией «заморозки» весов. Что позволяет сэкономить ресурсы на ее обучении. Тем самым количество обучаемых параметров энкодера составило 819 918, что составляет 1/70 всех обучаемых параметров. Оптимизация параметров декодера на данном этапе не решена.

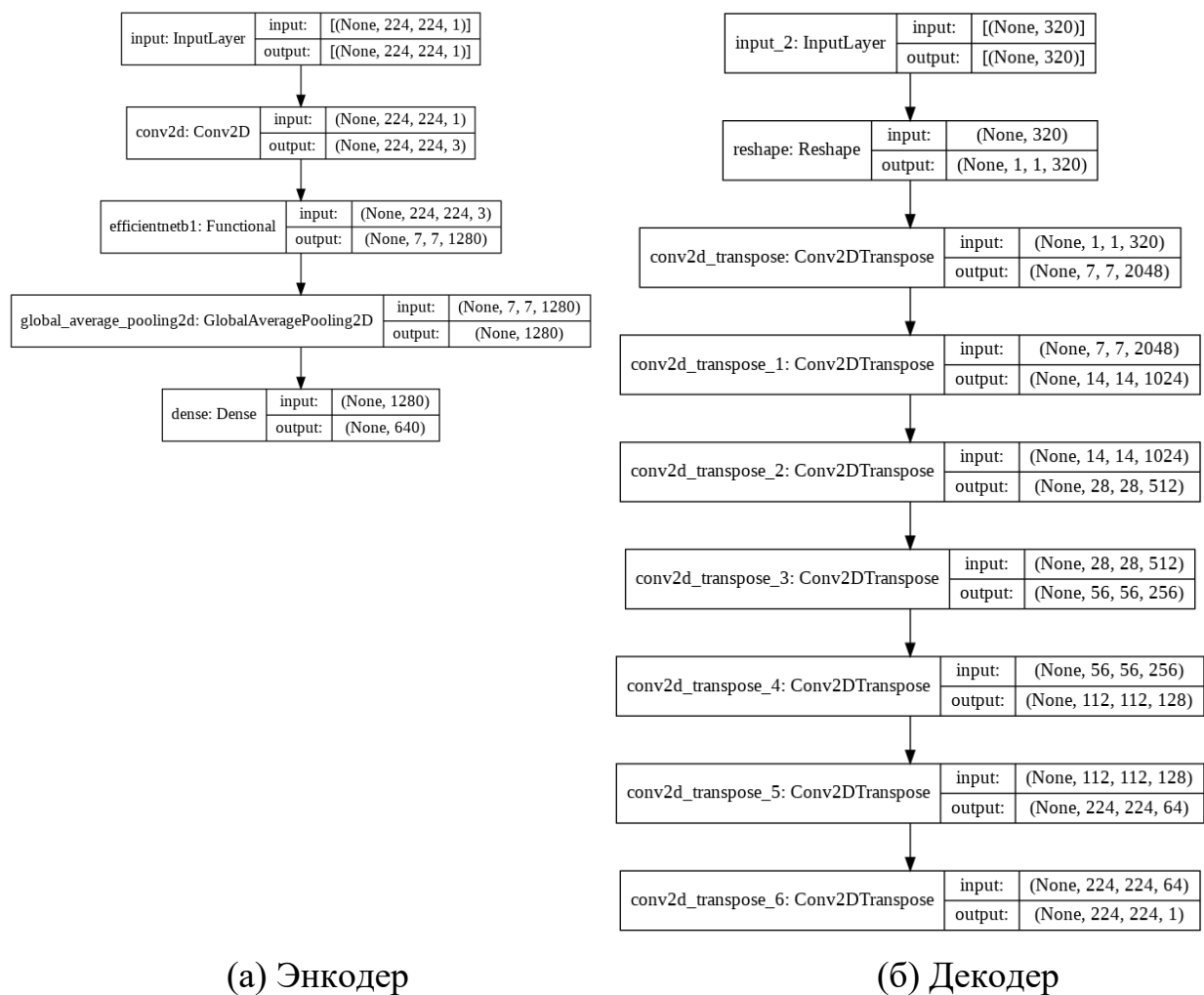


Рисунок 4.5 – Архитектура сверточного вариационного автоэнкодера с использованием transfer learning

4.2.2.2 Генеративно-состязательная сеть

Реализация генеративно-состязательной сети основана на опыте, полученном при разработке вариационного автоэнкодера. В следствии чего принято решение в сети дискриминаторе использовать в качестве модели выделения признаков предварительно обученную модель с «замороженными» весами. Так как данные модели не только лучше справляются с поставленной задачей, но и позволяют сэкономить вычислительные ресурсы. Что в свою очередь позволит сосредоточить свое внимание на реализации сети генератора. Так как в силу специфики работы генеративно-состязательных сетей обе модели (генератор, дискриминатор) должны иметь примерно одинаковый потенциал, принято решение создать модель на основе PSPnet.

Общее число обучаемых параметров сети составило 76 578 639. Можно заметить, что данное число параметров близко к конечной модели вариационного автоэнкодера и это так. Архитектуры данных моделей имеют большую схожесть, архитектура генеративно-сопоставительной сети представлена на рисунке 4.6.

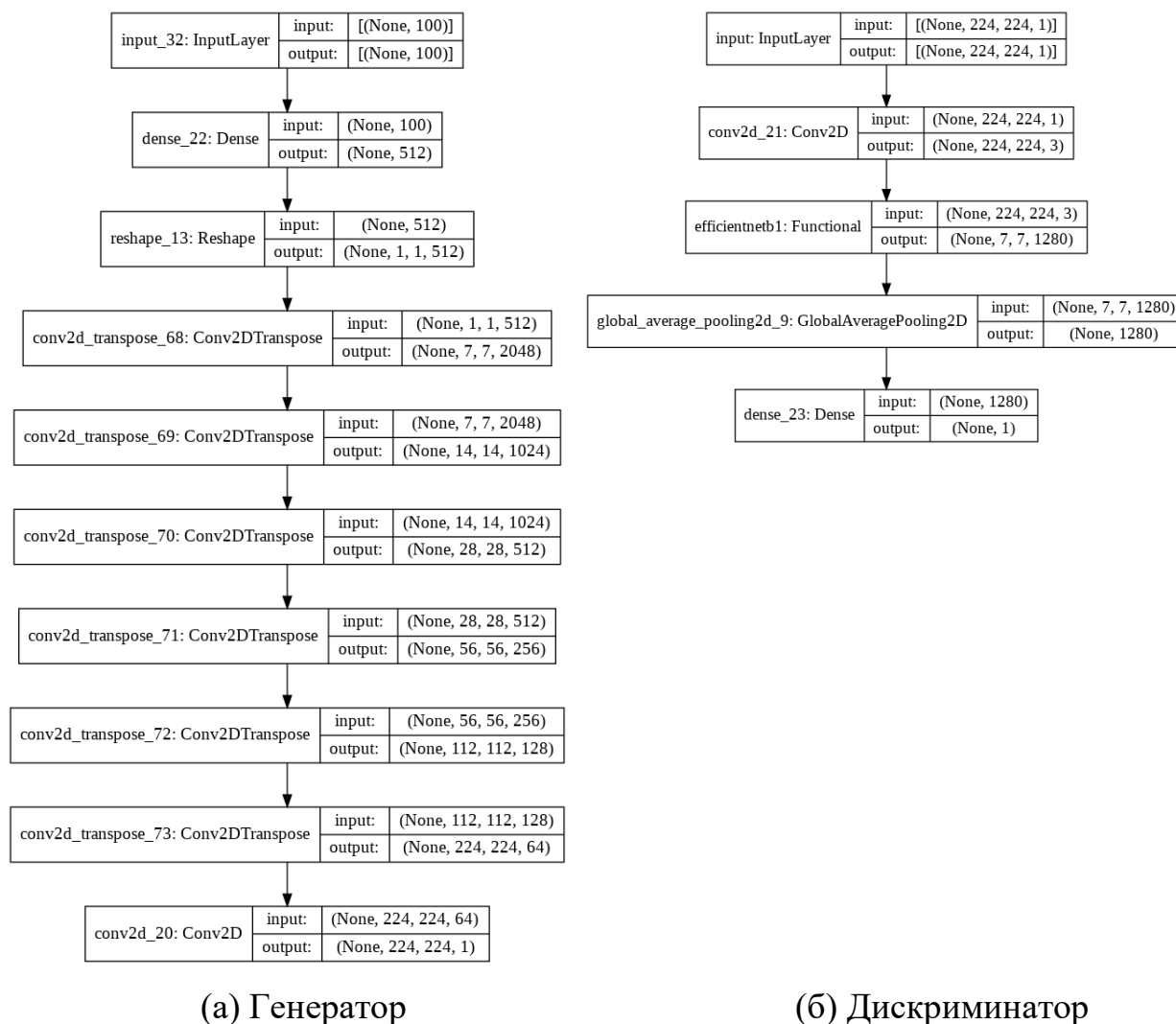


Рисунок 4.6 – Архитектура генеративно-сопоставительной сети

Модель генеративно-сопоставительной сети также показала хорошие результаты и продемонстрировала хорошую сходимость, что и наталкивает на мысль реализации комбинированной модели.

4.2.2.3 Комбинированная модель

Основная идея комбинированной модели – это сочетание всех положительных моментов от каждой модели, а именно:

- способность синтеза новых данных, основываясь на входном примере от вариационного автоэнкодера и быстрая скорость сходимости;
- достижение высокой точности, полученной в ходе конкурентной борьбы, отсутствие размытости на изображении.

Для реализации данной модели за основу была взята генеративно-состязательная сеть и ее алгоритм обучения. В качестве генератора использована модель сверточного вариационного автоэнкодера основанная на предварительно обученной сети.

Интерес вызывает работа дискриминатора. Для обучения дискриминатора отличать реальные объекты от сгенерированных, необходимо выделить какие-то характерные черты одних и других. Эти черты (признаки) объекта(ов) будут закодированы в слоях искусственной нейронной сети. На основе комбинации этих признаков, сеть дискриминатор и будет определять вероятность объекта быть реальным. К примеру, если изображение размыто, то какой-то нейрон в дискриминаторе будет активироваться сильнее, чем если оно четкое. Также стоит упомянуть, что чем глубже слой расположен в структуре сети, тем более абстрактные признаки входного объекта в нем будут закодированы.

Имея доступ к выходной информации каждого из слоев дискриминатора можно составить собственную метрику (определить функционал ошибки), основываясь на закодированных чертах выходных объектов. Метрика, основанная на активации нейронов сети будет много эффективнее любой метрики основанной на попиксельном анализе изображения.

Общее число обучаемых параметров данной модели составило 94 161 744. Концептуальная архитектура данной модели представлена на рисунке 4.7.

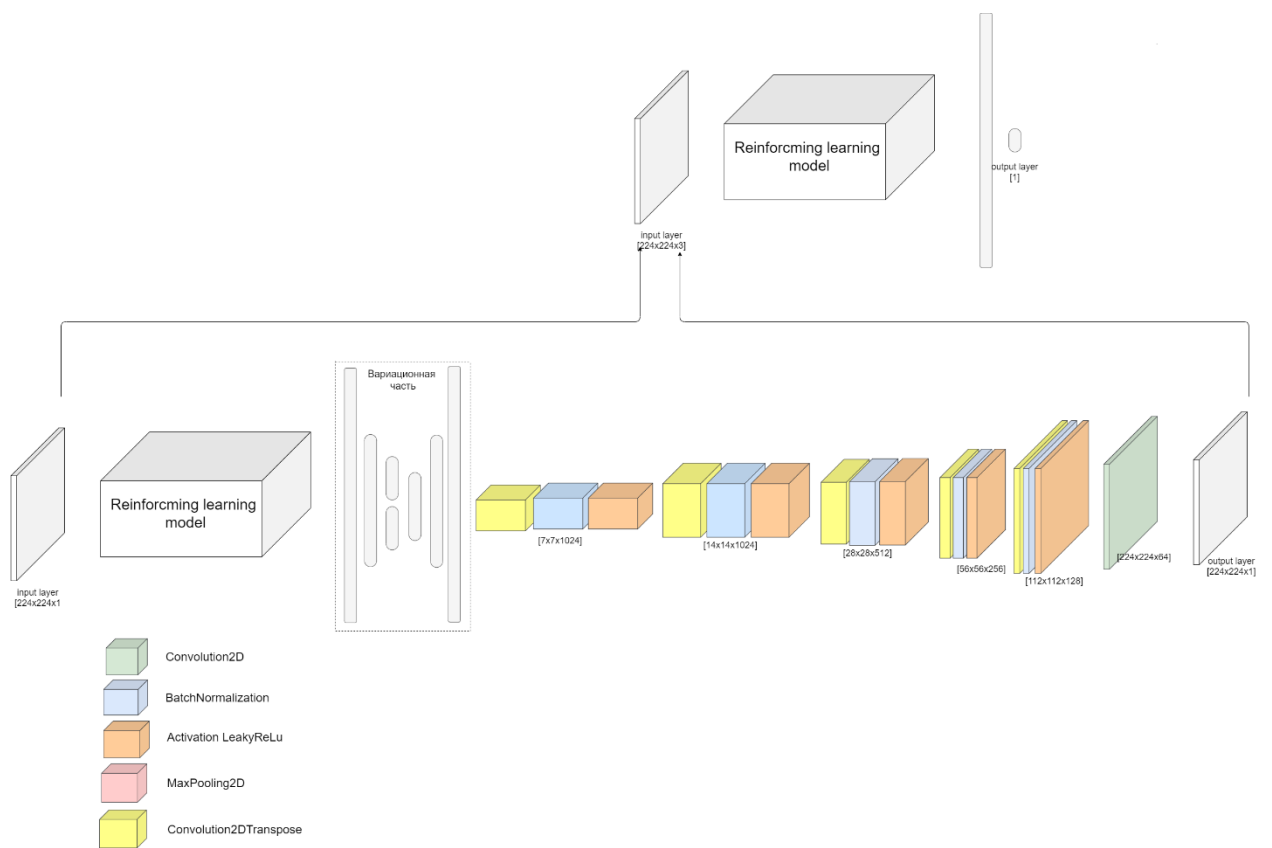


Рисунок 4.7 – Концептуальная архитектура комбинированной модели

5 Статистический анализ результатов

5.1 Синтез числовых данных

Полносвязный автоэнкодер показал хорошую результативность, что отражено на рисунке 5.1. Исходя из графика видно, что модель сходится после 20 эпох, а переобучение (разница между значениями метрики на обучающей и валидационной выборках) нивелируется.

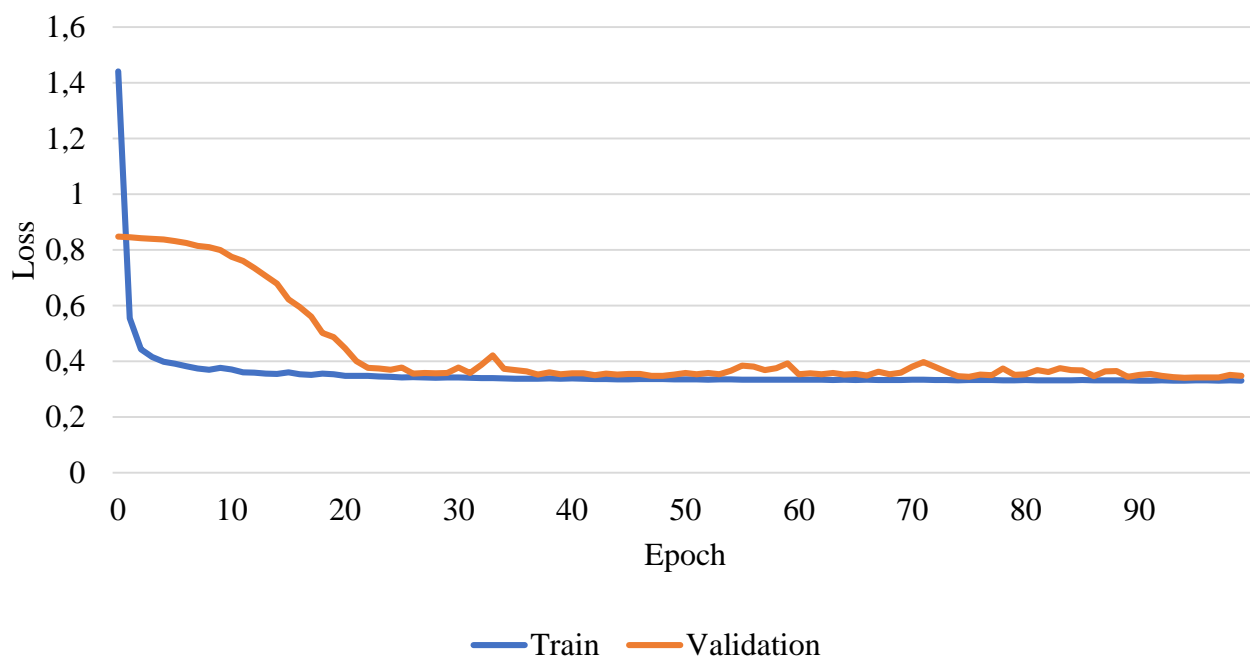


Рисунок 5.1 - Динамика функции потерь на этапах обучения и валидации модели

Полносвязный вариационный автоэнкодер также полностью справился с поставленной задачей. Модель сходится к 60-ой эпохе обучения (см. рисунок 5.2).

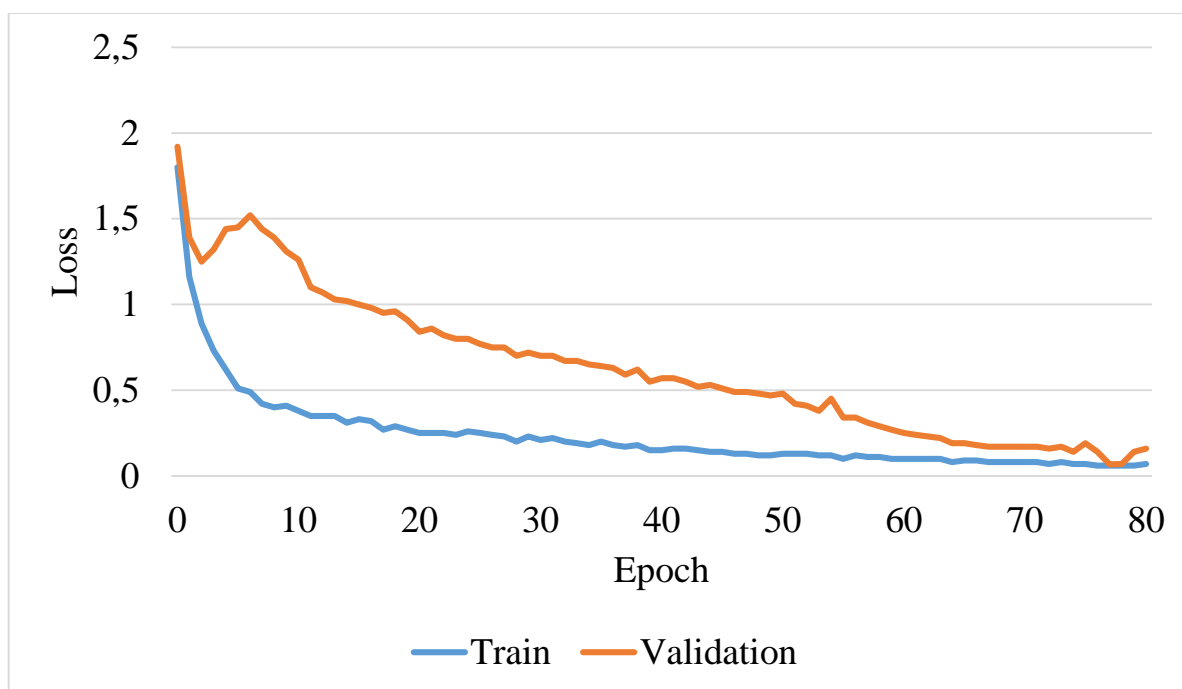


Рисунок 5.2 – Динамика функции потерь на этапах обучения и валидации модели

Теперь рассмотрим сгенерированные данные в количестве 8 штук (см. рисунок 5.3).

1		Floor	Age	nGal d 1	nGal d 2	nGal d 3	nGal d 5	nBos d 4	nBos d 5	nBos d 8	s d lactofe	rGad c 1	nPen m 2	nPen m 4	rAna o 2	rBer e 1	nCor a 9	rJug r 1	nJug r 2	nSes i 1	rAra h 1	rAra h 2	rAra h 3
2	0	Men's	15	0	0	0	0	0	0	0	0	1,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	Men's	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	Men's	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	Womanis	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	Womanis	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	Men's	17	1,32	0	0	0	0	0	0	0	3,57	0	0	0	0	0	1,34	0	0	0	1,41	0
8	0	Womanis	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	Womanis	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 5.3 – Результат генерации числовых данных

Видно, что все сгенерированные пациенты принадлежат к возрастной группе 0-20, что неудивительно, так как именно к такой возрастной группе принадлежал пациент, подаваемый в качестве входного параметра. Стоит отметить явную вариативность по параметру «пол», что опять же не удивительно, так как обучающая выборка изначально сбалансирована по данной категории.

5.2 Синтез изображений

Полносвязный вариационный автоэнкодер показал неудовлетворительные результаты синтеза данных, что явно проявляется на рисунке 5.4. Стоит отметить, что модели вариационного автоэнкодера также тестировались в качестве шумоподавителя.

Сверточный вариационный автоэнкодер полностью справился с поставленной задачей. Восстановленные изображения не только имели новые привнесенные признаки на основе обучающего датасета, но и считаются более информативными, чем зашумленная версия входного кадра. Результаты эксперимента отражены на рисунке 5.5.

Сверточный вариационный автоэнкодер с применением трансферного обучения в отличие от предыдущей модели имеют большую скорость сходимости. А конечный результат имеет небольшое качественное превосходство.

Генеративно-состязательная сеть также успешно справилась с поставленной задачей, выходные изображения имеют достаточную четкость, и сравнительно небольшую вариативность, что связано со скудностью разнообразия обучающих примеров. Стоит отметить, что обучение данной модели было много дольше. Результаты эксперимента отражены на рисунке 5.6.

Комбинированная модель показала результаты немного хуже двух ранее представленных моделей. Также стоит отметить, что данная модель требует много больше вычислительных ресурсов. Предполагается, что решение данной проблемы состоит в оптимизации архитектуры сети и более тонкой настройке гиперпараметров. Результаты эксперимента отражены на рисунке 5.7.

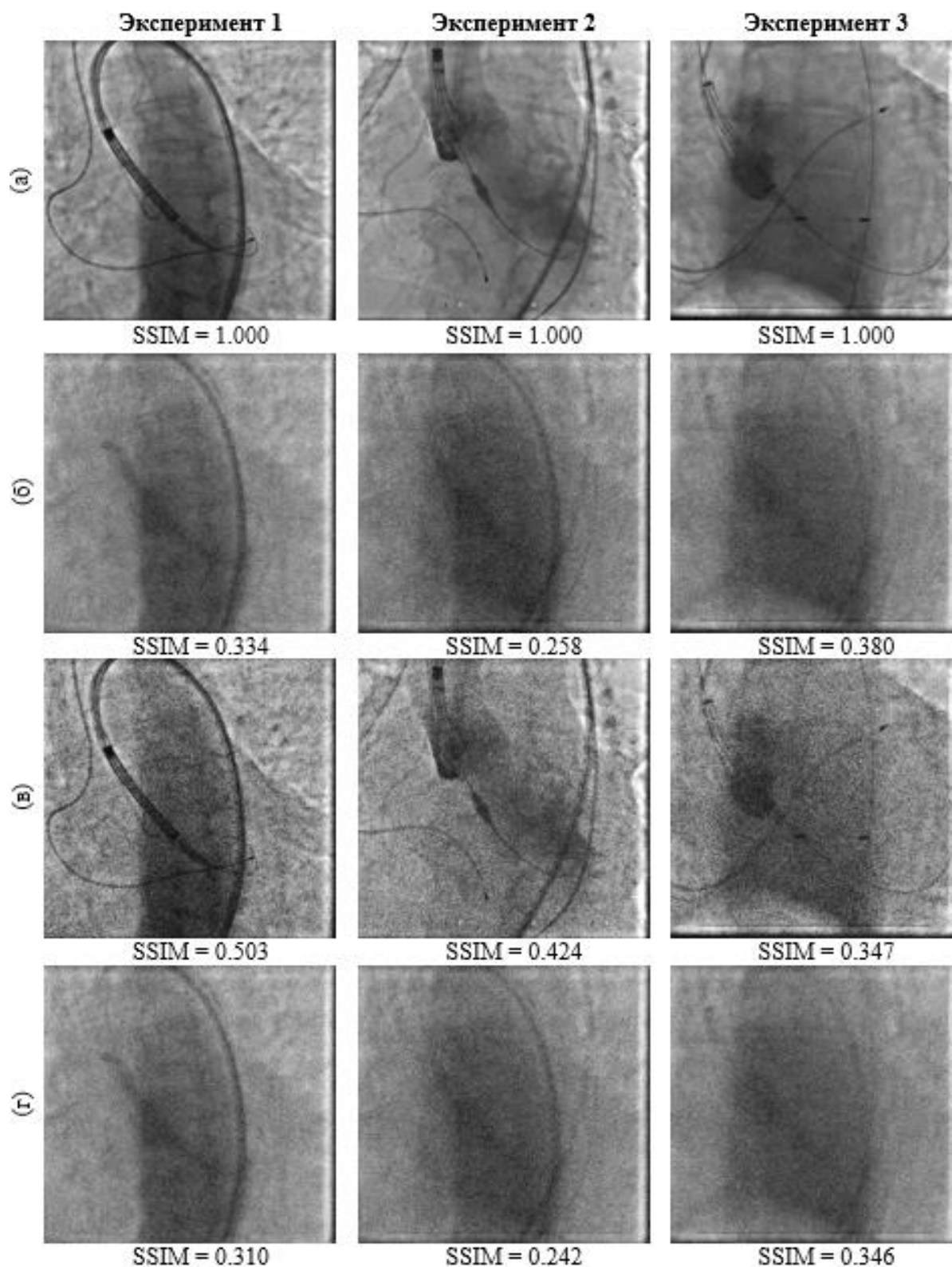


Рисунок 5.4 – Результат работы полносвязного вариационного автоэнкодера для задачи шумоподавления: (а) исходное изображение, (б) реконструированное изображение из исходного, (в) зашумленное изображение, (г) реконструированное изображение из зашумленного

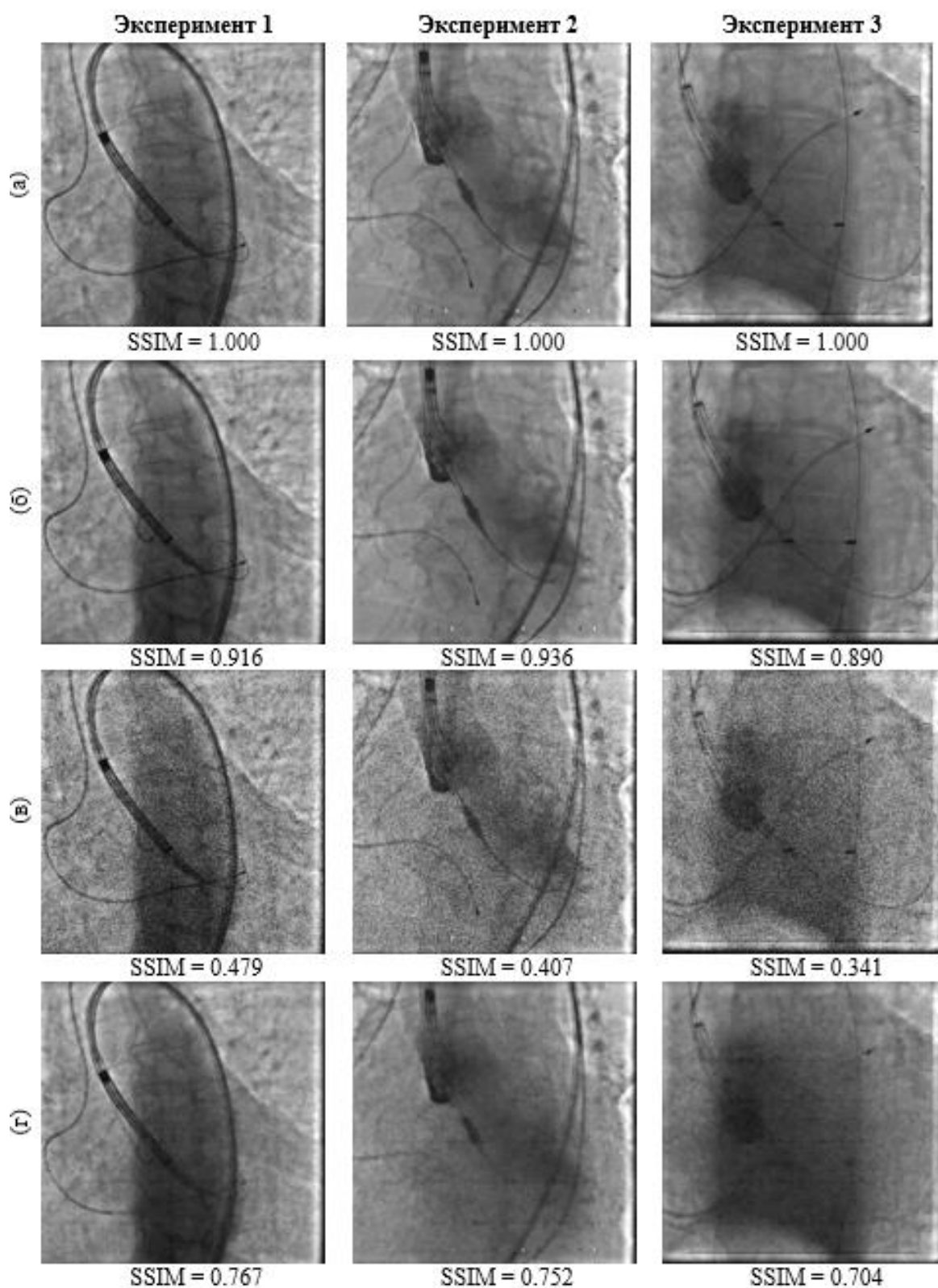


Рисунок 5.5 – Результат работы сверточного вариационного автоэнкодера для задачи шумоподавления: (а) исходное изображение, (б) реконструированное изображение из исходного, (в) зашумленное изображение, (г) реконструированное изображение из зашумленного

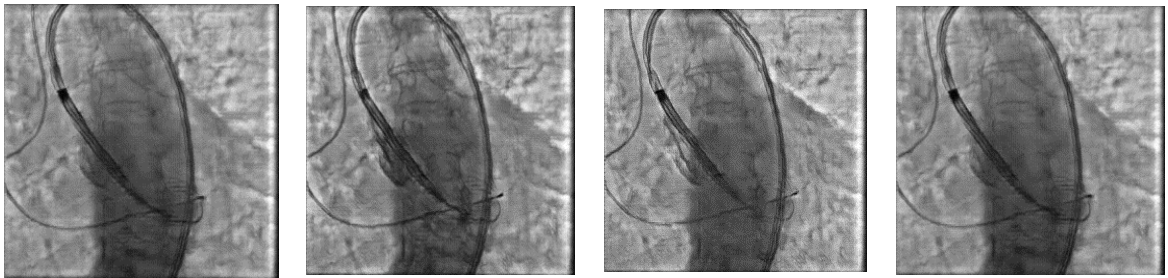


Рисунок 5.6 – Результат работы генеративно-сопоставительной сети

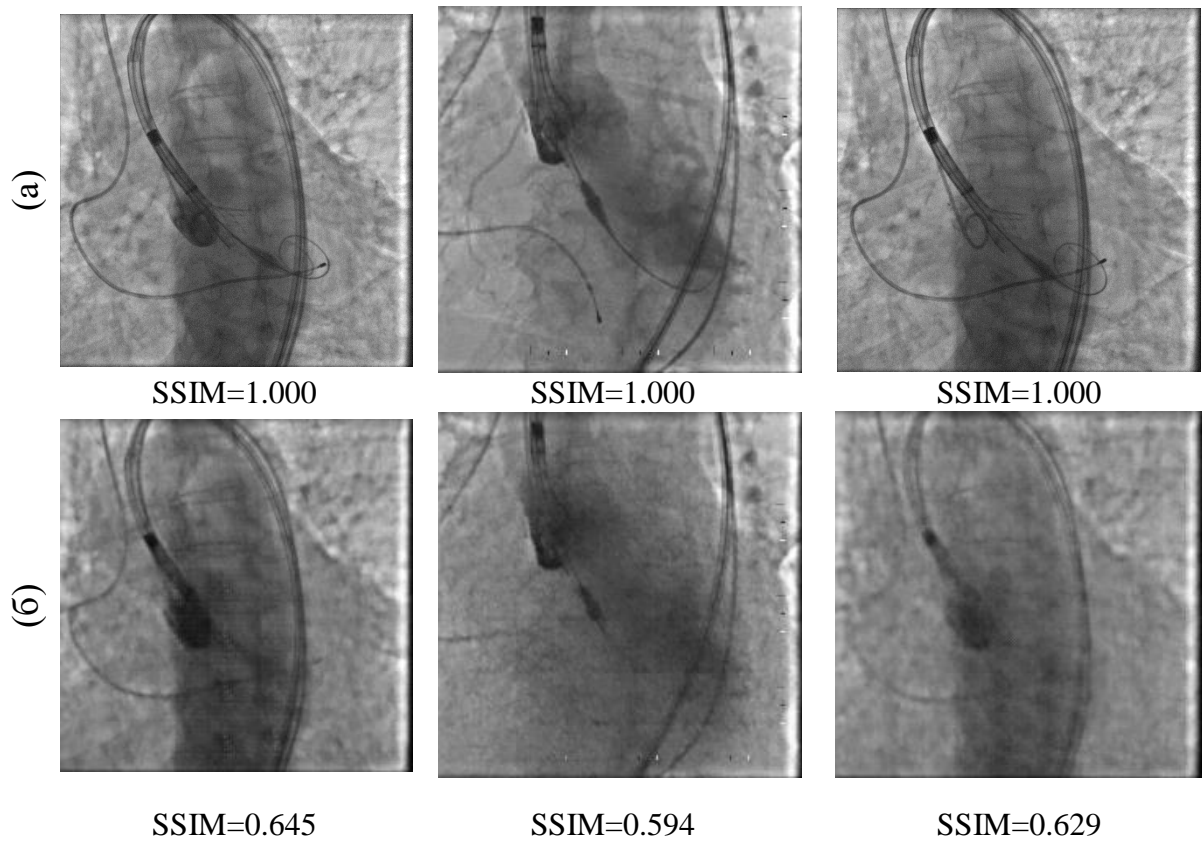


Рисунок 5.7 – Результат работы комбинированной модели: (а) исходное изображение, (б) реконструированное изображение из исходного

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8BM93	Лаптев Владислав Витальевич

Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение (НОЦ)	Информационных технологий
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	09.04.01 Информатика и вычислительная техника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих.	Использовать действующие ценники и договорные цены на потребленные материальные и информационные ресурсы, а также указанную в МУ величину тарифа на эл. энергию.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов.	—
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.	Ставка отчисления во внебюджетные фонды – 30%. Ставка НДС – 20%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований.	Построить календарный график работ. Рассчитать смету затрат на выполнение НИ. Определить стоимость разработки НИ.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.	Определить экономическую эффективность НИ.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Смета затрат на выполнение НИ и стоимость разработки НИ
2. Перечень работ и продолжительность их выполнения
3. Трудозатраты на выполнение НИ
4. Линейный график работ
5. Оценка экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, отделение социально-гуманитарных наук	Верховская Марина Витальевна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8BM93	Лаптев Владислав Витальевич		

6.1 Введение

Выполнение раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» несет в себе цель выполнить комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов проекта. Необходимо оценить полные денежные затраты на проект, а также дать хотя бы приближенную экономическую оценку результатов его внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы.

Для достижения цели необходимо поставить и решить следующие задачи:

- Спланировать продолжительность этапов работ и графи выполнения работ в рамках проекта;
- Рассчитать смету затрат на выполнение проекта;
- Определить стоимость разработки проекта;
- Оценить экономическую эффективность проекта.

Основной целью проекта является исследование и реализация метода синтеза вариационного автоэнкодера и генеративно–состязательных сетей в задачах создания новых медицинских данных.

Данный проект нацелен на создание дополнительного обучающего набора данных для моделей трекинга и обнаружения объектов.

6.2 Предпроектный анализ

6.2.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями являются различные научные учреждения, где одним из направлений является работа с большими данными, а также учреждения, основным профилем которых является машинное обучение.

6.2.2 SWOT анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Матрица составляется на основе анализа рынка и конкурентных технических решений, и показывает сильные и слабые стороны проекта, возможности и угрозы для разработки. Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Матрица SWOT представлена в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – SWOT-анализ

	Сильные стороны	Слабые стороны
	Си1. Отсутствие аналогов	Сл1. Необходимость переобучения модели под новый характер данных
	Си2. Размещение в облачном сервисе	Сл2. Отсутствие понятного интерфейса
	Си3. Удобство использования	Сл3. Высокая требовательность к ресурсам вычислительной машины
	Си4. Возможность бесконечного синтеза новых примеров	
	Си5. Система написана самостоятельно	

Продолжение таблицы 6.1.

Возможности		
В1. Доработка в связи с пожеланиями	В1Си1Си5. Так как система написана самостоятельно, ее можно улучшить по требованию	В1Сл2 заказчик может попросить разработать удобный интерфейс
В2. Обучение новой модели, под иной характер данных	В2Си2Си3Си5. Так как система написана самостоятельно, удобна в использование и может быть размещена в облаке, то новое обучение можно запустить очень легко, при наличии обучающего множества	В2Сл1Сл3. Могут возникнуть проблемы с новым характером данных, требуется время и большие вычислительные ресурсы.
В3. Локальное размещение	В3Си2Си3Си5. Система легко переносится на локальную машину.	В3Сл3. Требуется вычислительная машины большой мощности.
В4. Генерация дополнительного множества по запросу	В4Си4. Система готова к генерацию любого количества примеров по запросу.	
Угрозы		
У1. Медленная работа системы	У1Си2. При размещении системы в облаке скорость работы стабильно высокая.	У1Сл3. Возможна медленная работа при низкой мощности вычислительной техники, необходимо использовать вычислительные машины высокой мощности или использовать облачный сервис
У2. Сбой при получении нового формата данных	У1Си3Си5. Так как система легка в использовании и написана самостоятельно, то ошибки связанные с входным форматом данных легко устранимы	У2Сл1. Система может выдать ошибку при обучении на нестандартном формате данных, необходимо проанализировать все возможные форматы входных данных и провести тестирование.

В рамках SWOT анализа были рассмотрены сильные и слабые стороны проекта, а также четыре возможности и две угрозы. Указаны стратегии, которые будут ликвидировать слабые стороны разработки и бороться с угрозами.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. Соотношения параметров представлены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности		Си1	Си2	Си3	Си4	Си5
	B1	+				+
	B2		+	+		+
	B3		+	+	+	
	B4				+	
Слабые стороны проекта						
Возможности		Сл1	Сл2			Сл3
	B1		+			
	B2	+				+
	B3					+
	B4					
Сильные стороны проекта						
Угрозы		Си1	Си2	Си3	Си4	Си5
	У1		+			
	У2			+		+
Слабые стороны проекта						
Угрозы		Сл1	Сл2			Сл3
	У1					+
	У2	+				

Самым большим преимуществом данной системы является то, что она написана самостоятельно и может быть размена в облачном сервисе, а недостатком то, что необходимо новое обучение при смене характера входных данных.

6.2.3 Оценка проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения).

Для этого заполним форму в таблице 6.3, содержащую показатели степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциями разработчика научного проекта.

Таблица 6.3 – Оценка степени готовности проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Ком-мерция	Компе-тенции
1	Определен имеющийся научно-технический задел	3	3
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	4
3	Определены отрасли и технологии для предложения	4	3
4	Определена форма для представления на рынок	3	3
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	1	1
6	Оценена стоимость интеллектуальной собственности	1	1
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	1
8	Разработан бизнес-план коммерциализации разработки	1	1
9	Определены пути продвижения разработки на рынок	3	3
10	Разработана стратегия (форма) реализации разработки	3	2
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14	Имеется команда для коммерциализации разработки	3	1
15	Проработан механизм реализации научного проекта	4	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	35	30

Итоговые значения проработанности научного проекта и знания у разработчика 35/30, что говорит о том, что проект в текущем виде не готов к коммерциализации.

6.3 Организация и планирование работ

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

В соответствие с видами работ участниками планирования выбраны:

1. Научный руководитель (НР);
2. Исполнитель ВКР (И);

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Наглядным результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Так как число исполнителей редко превышает двух в большинстве случаев предпочтительным является линейный график. Для построения линейного графика хронологически упорядоченные вышеуказанные данные сведены в таблицу 6.4.

Таблица 6.4 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работ	Содержание работ	Загрузка исполнителей
Подготовительный	Выбор темы ВКР	Научный руководитель – 100%
	Выбор направления исследования, среды и инструментов разработки для реализации алгоритмов синтеза новых медицинских данных.	Научный руководитель – 80% Исполнитель ВКР – 80%
	Подбор материала, его анализ и обобщение	Научный руководитель – 30% Исполнитель ВКР – 100%
	Обзор и обсуждение литературы по выбранной теме исследования	Научный руководитель – 50% Исполнитель ВКР – 100%
Этапы работ	Содержание работ	Загрузка исполнителей
Подготовительный	Календарное планирование работ	Научный руководитель – 70% Исполнитель ВКР – 70 %
Основной	Сбор и обработка данных	Исполнитель ВКР – 100%
	Реализация вариационного автоэнкодера	Исполнитель ВКР – 100%
	Реализация генеративно-состязательной сети	Исполнитель ВКР – 100%
	Реализация комбинированной сети	Исполнитель ВКР – 100%
	Тестирование сетей на различных данных	Научный руководитель – 50% Исполнитель ВКР – 100%
	Проведение статистического анализа для проверки достоверности результатов	Исполнитель ВКР – 100%

Продолжение таблицы 6.4.

	Описание мероприятий по социальной ответственности	Исполнитель ВКР – 100%
	Описание ресурсоэффективности и ресурсосбережения исследования	Исполнитель ВКР – 100%
Заключительный	Составление отчета о проделанной работе	Исполнитель ВКР – 100%
	Защита ВКР	Исполнитель ВКР – 100%

6.3.1 Продолжительность этапов работ

Продолжительность этапов работ осуществляется опытно–статистическим методом и экспертным способом.

Экспертный способ предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию. Для определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ $t_{ож}$ применяются по усмотрению исполнителя следующая формула:

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5},$$

Где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн..

6.3.2 Разработка графика проведения научного исследования

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{рД}$) ведется по следующей формуле:

$$T_{рД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} * K_{Д},$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

K_{BH} – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{BH} = 1$;

K_D – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_D = 1-1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{KD} = T_{RD} * T_K,$$

где T_{KD} – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

T_K – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле:

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}},$$

Для шестидневной рабочей недели $T_K = 1,22$:

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 366$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 14$).

Для пятидневной рабочей недели $T_K = 1,48$:

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 366$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 104$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 14$).

Все рассчитанные значения представлены в таблице 6.5. Для наглядного отображения графика и распределения работ между участниками проекта использована диаграмма Ганта. Диаграмма Ганта представляет собой ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующиеся датами начала и окончания

выполнения того или иного этапа работ. Диаграмма представлена в таблице 6.6.

Таблица 6.5 – Трудозатраты на выполнение проекта

Название работы	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям, чел.дн.			
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	$T_{РД}$		$T_{КД}$	
					НР	И	НР	И
Выбор темы ВКР	НР	1	2	2,8	1	–	1,1	–
Выбор направления исследования, среды и инструментов разработки для реализации алгоритмов синтеза новых медицинских данных.	НР, И	2	6	4,8	1,2	4,6	1,2	6,81
Подбор материала, его анализ и обобщение	НР, И	10	12	10,8	1	12,96	1,3	19,18
Обзор и обсуждение литературы по выбранной теме исследования	НР, И	4	7	5,2	1,2	6,24	1,5	9,24
Календарное планирование работ	НР, И	2	4	2,8	1,5	2,02	1,5	2,99
Сбор и обработка данных	И	6	9	7,2	–	8,64	–	12,79
Реализация вариационного автоэнкодера	И	5	7	5,8	–	6,1	–	7,44
Реализация генеративно-состязательной сети	И	5	7	5,8	–	6,1	–	7,44
Реализация комбинированной сети	И	8	12	9,6	–	9,98	–	12,17
Тестирование сетей на различных данных	Н, И	3	5	3,8	1,5	4,56	1,65	6,75
Проведение статистического анализа для проверки достоверности результатов	И	7	9	7,8	–	9,36	–	13,85

Продолжение таблицы 6.5

Название работы	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям, чел.дн.			
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	$T_{РД}$		$T_{КД}$	
					НР	И	НР	И
Описание мероприятий по социальной ответственности	И	3	5	3,8	–	4,56	–	6,75
Описание ресурсоэффективности и ресурсосбережения исследования	И	4	6	4,8	–	5,76	–	8,52
Составление отчета о проделанной работе	И	3	5	3,8	–	4,56	–	6,75
Защита ВКР	И	1	1	1	–	1,2	–	1,78
Итого:				73	7,5	86,64	8,25	122,46

Таблица 6.6 – Диаграмма Ганта

№ работы	$T_{\text{кд}}$		Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь		
	НР	И	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
1	1	–															
2	1,2	6,81															
3	1	19,18															
4	1,2	9,24															
5	1,5	2,99															
6	–	12,79															
7	–	7,44															
8	–	7,44															
9	–	12,17															
10	1,5	6,75															
11	–	13,85															
12	–	6,75															
13	–	8,52															
14	–	6,75															
15	–	1,78															

■ – научный руководитель (НР);

■ – исполнитель ВКР (И).

6.4 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие (накладные расходы) расходы.

6.4.1 Расчет затрат на материалы

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- материалы, покупные изделия, полуфабрикаты и другие материальные ценности, расходуемые непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования;
- специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно;
- транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю;
- расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции).

Приближенно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это $5 \div 20 \%$. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в указанных границах.

Результаты расчета материальных затрат представлены в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Бумага для принтера формата А4	250	1 уп.	250
Картридж для принтера	1550	1 шт.	1550
Итого:			1800

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны $C_{\text{мат}} = 1800 \times 1,05 = 1890$ руб

6.4.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и исполнителя ВКР, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя. Величины месячных окладов (МО) для сотрудников ТПУ можно получить на его портале. Оклад исполнителя принимается равным окладу соответствующего специалиста низшей квалификации в организации, где исполнитель проходил преддипломную практику. При отсутствии такового берется оклад собственной кафедры (лаборатории).

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных

(экспериментальных) работ;

- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{Д_{\text{мес}}},$$

При шестидневной рабочей неделе в 2021 году: 300 рабочих дней и, следовательно, в месяце в среднем 25 рабочих дней.

При пятидневной рабочей неделе в 2021 году: 248 рабочих дней и, следовательно, в месяце в среднем 21 рабочий день.

Расчет затрат на полную заработную плату представлен в таблице 1.8. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 6.5. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов:

- $K_{\text{ПР}} = 1,1$;
- $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188$;
- $K_{\text{р}} = 1,3$.

Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_{\text{и}} = 1,1 \times 1,188 \times 1,3 = 1,699$. Вышеуказанное значение $K_{\text{доп.ЗП}}$ применяется при шестидневной рабочей неделе, при пятидневной оно равно 1,113, соответственно в этом случае $K_{\text{и}} = 1,62$.

Таблица 6.8 – Расчет заработной платы

Исполнитель	Должность / Уч. степень	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб. день	Затраты времени, раб. дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	Профессор/ Д.т.н.	47104 × 1,043 = 49 129,5	1637,65	8	1,699	61 816,5
И	Инженер- исследователь	18278	589,6	87	1,62	83 098,22
Итого:						144 914,72

6.4.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту:

$$C_{\text{соц}} = C_{\text{зп}} \times 0,3$$

Итак, в нашем случае $C_{\text{соц}} = 144\,914,72 \times 0,3 = 43\,474,41$

6.4.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об}} = P_{\text{об}} \times t_{\text{об}} \times C_{\text{э}},$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность потребляемая оборудованием, кВт;

$C_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт/час;

$t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $C_{\text{э}} = 6,59$ руб. кВт/час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 2 для исполнителя ($T_{РД}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{об} = T_{РД} \times K_t$$

Где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{РД}$, определяется исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно определение $t_{об}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном} \times K_C,$$

Где $P_{ном}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$ – коэффициент нагрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Расчет затрат на электроэнергию приведен в таблице 6.9.

Таблица 6.9 – Расчет затрат на электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт	Затраты $\Delta_{эл.об}$, руб
Персональный компьютер	$87 \times 8 \times 0,6 = 417,6$	0,3	825,6
Лазерный принтер	$50 \times 0,6 = 24$	0,1	15,81
Итого:			841,41

6.4.5 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта:

$$C_{AM} = \frac{H_A \times \Delta_{об} \times t_{рф} \times n}{F_d},$$

где H_A – годовая норма амортизации единицы оборудования;

C_{OB} – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. При возможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.;

F_d – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. При этом второй вариант позволяет получить более объективную оценку C_{AM} . Для ПК в 2021 г. (300 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе) $F_d = 300 * 8 = 2400$ часа, для принтера $F_d = 500$ часов;

$t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются.

Для определения H_A следует обратиться к фрагменту из постановления правительства РФ «О классификации основных средств, включенных в амортизационные группы». Оно позволяет получить рамочные значения сроков амортизации (полезного использования) оборудования $\equiv C_A$. Например, для ПК это 2-3 года. Необходимо задать конкретное значение C_A из указанного интервала, в данном случае, 2,5 года. Далее определяется H_A как величина обратная C_A , в данном случае это $1 / 2,5 = 0,4$. Для принтера $H_A = 1 / 2 = 0,5$.

Расчет амортизационных затрат приведен в таблице 6.10.

Таблица 6.10 – Расчет амортизационных затрат

Наименование оборудования	n	Цоб	t _{рф}	Н _а	Е _д	С _{ам} , руб
Персональный компьютер	1	140000	87*8=696	0,4	2400	16240
Лазерный принтер	1	32000	50*0,6=30	0,5	500	420
Итого:						16660

6.4.6 Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов (кроме суточных)

Сюда относятся:

- командировочные расходы, в т.ч. расходы по оплате суточных, транспортные расходы, компенсация стоимости жилья;
- арендная плата за пользование имуществом;
- оплата услуг связи;
- услуги сторонних организаций;

Норма оплаты суточных – 100 руб./день.

Расходы по услугам связи составили 300 руб. итого по данному пункту
 $C_{\text{нп}} = 300$ руб.

6.4.7 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нп}}) * 0,1$$

Таким образом, $C_{\text{проч}} = (1890 + 144\,914,721 + 43\,474,41 + 841,41 + 16\,660 + 300) * 0,1 = 20\,808,05$ руб.

6.4.8 Расчет общей себестоимости проекта

Проведя расчет по всем статьям сети затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «исследование и реализация метода синтеза вариационного автоэнкодера и генеративно–состязательных сетей в задачах создания новых медицинских данных».

Расчет общей себестоимости разработки приведен в таблице 6.11.

Таблица 6.11 – расчет общей себестоимости разработки

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	1890
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	167850,03
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	50355,009
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.об}}$	841,41
Амортизационные расходы	$C_{\text{ам}}$	16660
Непосредственно учитываемые расходы	$C_{\text{нп}}$	300
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	20 808,05
Итого:		228 888,59

Таким образом затраты на разработку составили $C = 228\,888,59$ руб.

6.4.9 Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и коммерциализации, специфика целевого сегмента рынка и т.д.) может определяться различными способами. Если исполнитель работы не располагает данными для применения «сложных» методов, то прибыль следует принять в размере $5 \div 20 \%$ от полной себестоимости проекта. В данном случае прибыль составляет 34 333,28 руб. (15 %) от расходов на разработку проекта.

6.4.10 Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В данном случае это $(228\,888,59 + 34\,333,28) * 0,2 = 52\,644,37$ руб.

6.4.11 Цена разработки ВКР

Цена разработки ВКР равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в данном случае $C_{\text{ВКР}} = 228\,888,59 + 34\,333,28 + 52\,644,37 = 316\,866,24$ руб.

6.5 Оценка экономической эффективности проекта

Экономическая эффективность проекта обусловлена возрастающей потребностью в качественных больших данных, необходимых для обучения точных интеллектуальных систем. Конечная система в виде модуля или библиотеки с возможностью синтеза новых медицинских данных является востребованной и актуальной на сегодняшний день. Использование подобной системы позволяет решать такие задачи, синтез новых обучающих примеров с аннотацией, синтез тестовых примеров. Возможность синтеза как числовых данных, так и изображений.

Подводя итог вышесказанному, экономический эффект от реализации проекта может быть выражен в снижении затрат на разработку алгоритмов аугментации, зар./платы аннотаторам, сбор данных.

6.5.1 Оценка научно-технического уровня НИР

Научно-технический уровень характеризует, в какой мере выполнены работы, и обеспечивается научно-технический прогресс в данной области. Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, используется метод балльных оценок.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня по формуле:

$$K_{\text{НТУ}} = \sum_{i=1}^k R_i \times n_i,$$

где $K_{\text{НТУ}}$ – коэффициент научно-технического уровня;

k – число оцениваемых параметров;

R_i – весовой коэффициент i -ого признака научно-технического эффекта;

n_i – количественная оценка i -ого признака научно-технического эффекта, в баллах.

Весовые коэффициенты признаков НТУ указаны в таблице 6.12.

Таблица 6.12 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

Признак НТУ	Значение весового коэффициента n_i	
Уровень новизны	Положительное решение на основе анализа связей факторов, распространение известных принципов на новые объекты	0,3
Теоретический уровень	Разработка алгоритмов. Проверка на большом объеме экспериментальных данных	0,2
Возможность реализации	Время реализации в течении первых лет	0,5

Баллы для оценки уровня новизны, теоретического уровня и возможности реализации по времени и масштабам указаны в таблицах 6.13-6.15

Таблица 6.13 – Баллы для оценки уровня новизны

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, вещество, способ	8-10
Новая	По-новому объясняются те же факторы, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты	5-7

Продолжение таблицы 6.13

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	Баллы
Относительно новая	Систематизируется, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2-4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

Таблица 6.14 – Баллы значимости теоретических уровней

Теоретический уровень получаемых результатов	Баллы
Установка закона, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ, взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8
Разработка способа (алгоритм, программа и т.д.)	6
Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснение версии, практических рекомендаций)	2
Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5

Таблица 6.15 – Возможность реализации результатов по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
В течении первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2

Обоснование оценок признаков НИР приведены в таблице 6.16

Таблица 6.16 – Оценки научно-технического уровня НИР

Фактор НТУ	Значимость	Уровень фактора	Выбранный балл	Обоснование выбранного балла
Уровень новизны	0,3	Положительное решение на основе анализа связей факторов, распространение известных принципов на новые объекты	4	Облегчит возможность обучения моделей трекинга и обнаружения
Теоретический уровень	0,2	Средняя сложность реализации алгоритмов, проверка на большом объеме экспериментальных данных	6	Разработаны алгоритмы и архитектуры моделей синтеза данных маленького размера
Возможность реализации	0,5		7	Полученный продукт находится на стадии тестирования и внедрения

В таблице 6.17 указано соответствие качественных уровней НИР значениями показателя, рассчитываемого по формуле.

Таблица 6.17 – Оценка уровня научно-технического эффекта

Уровень НТЭ	Показатель НТЭ
Низкий	1-4
Средний	4-7
Высокий	8-10

Исходя из оценки признаков НИР, показатель научно-технического уровня для данного проекта составил:

$$K_{\text{НТУ}} = 0,3 * 4 + 0,2 * 6 + 0,5 * 7 = 5,9.$$

Таким образом, исходя из данных в таблице 1.9 проект «исследование и реализация метода синтеза вариационного автоэнкодера и генеративно–сопоставительных сетей в задачах создания новых медицинских данных» имеет средний уровень научно-технического эффекта.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8BM93	Лаптев Владислав Витальевич

Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение (НОЦ)	Информационных технологий
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	09.04.01 Информатика и вычислительная техника

Тема ВКР:

Исследование и реализация метода синтеза вариационного автоэнкодера и генеративно-состязательных сетей в задачах создания новых медицинских данных	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>– Целью работы является изучение методов генерации данных посредством вариационного автоэнкодера, генеративно-состязательных сетей, а также коллаборации вышеупомянутых методов. Исследуются медицинские данные (снимки компьютерной томографии).</p> <p>– Рабочее помещение представлено исследовательской лабораторией со следующими параметрами:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Общая площадь: 48м²; – Отопление: центральное отопление (радиатор на 4 секции); – Вентиляция: вытяжная вентиляция 25см²; – Освещение: 8 светильников в два ряда; – Оборудование: 4 персональных компьютера, роутер пр. периферийные устройства.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>– Описание правовых норм для работ, связанных с работой за ПК согласно следующим документам:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 30.12.2015) – ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

	<ul style="list-style-type: none"> – ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. Перечень опасных и вредных факторов. – СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. – ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности. – СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. – ТОИ Р-45-084-01 Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере. – ГОСТ 22269-76. Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. – ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление. – ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. – ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования.
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Вредные производственные факторы, создаваемые объектом исследования: <ul style="list-style-type: none"> – Электромагнитные излучения. – Опасные производственные факторы, создаваемые объектом исследования: <ul style="list-style-type: none"> – Поражения электрическим током. – Вредные производственные факторы, возникающие на рабочем месте: <ul style="list-style-type: none"> – Отклонение показателей микроклимата от нормы; – Превышение уровня шума; – Отсутствие или недостаток освещения; – Психофизиологические факторы (монотонность труда, нервно-психические перегрузки, перенапряжение зрительных

	<p>анализаторов).</p> <p>– Опасные производственные факторы, возникающие на рабочем месте:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Поражение электрическим током; – Короткое замыкание; – Статическое электричество.
3. Экологическая безопасность:	<p>– Влияние объекта исследования на окружающую среду (литосферу), происходит при утилизации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – аккумуляторных батарей; – компьютера и периферийных устройств (принтеры, МФУ, веб-камеры, наушники, колонки, телефоны); – люминесцентных ламп; – макулатуры.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>– Вероятные ЧС, инициируемые, объектом исследования:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Пожар. <p>– Вероятные ЧС, возникающие на рабочем месте:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Пожары – Ураганы, ливни – Оползни <p>– Наиболее типичные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Пожары

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2021
---	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор, Отделение контроля и диагностики	Федоренко Ольга Юрьевна	Доктор медицинских наук		01.03.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ВМ93	Лаптев Владислав Витальевич		01.03.2021

7.1 Введение

Данный раздел дипломной работы посвящен анализу и разработке мер по обеспечению благоприятных и безопасных для работы условий труда. Здесь рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

Цель данной работы является исследование и реализация метода синтеза вариационного автоэнкодера и генеративно–сопоставительных сетей в задачах создания новых медицинских данных.

Под проектированием рабочего места понимается целесообразное пространственное размещение функционально взаимосвязанных средств производства (оборудования, оснастки, предметов труда и др.), необходимых для осуществления трудового процесса. При проектировании рабочих мест должны быть учтены освещенность, температура, влажность, давление, шум, наличие вредных веществ, электромагнитных полей и другие санитарно-гигиенические требования к организации рабочих мест.

При проектировании лаборатории необходимо уделить внимание охране окружающей среды, а в частности, организации утилизации отходов.

Также необходимо учитывать возможность чрезвычайных ситуаций. Наиболее опасной и типичной ЧС является пожар. Предусмотрены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства.

7.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Регулирование отношений между работником и работодателем, осуществляется трудовым кодексом РФ [13].

Продолжительность рабочего дня не должна превышать 40 часов в неделю. В течение рабочего дня работнику должен быть предоставлен перерыв для отдыха и питания продолжительностью не более двух часов и не менее 30 минут. Всем работникам предоставляются выходные дни.

Организация рабочего места должна способствовать максимально удобной и безопасной работе сотрудника. Большое значение для профилактики статических физических перегрузок имеет правильная организация рабочего места человека, работающего с ПК. Рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда [14]. Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы [15].

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600 – 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПК, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления.

Так же стоит учитывать требования к размещению средств отображения информации (таблица 7.1).

Таблица 7.1 – Расположение средств отображения информации

Тип средств отображения информации	Угол, градусы	
	В вертикальной плоскости	В горизонтальной плоскости
Очень часто используемые	± 15	± 15
Часто используемые	± 30	± 30
Редко используемые	± 60	± 60

Рабочее место в лаборатории было оснащено:

– Рабочий стол. Рабочий стол отвечал современным требованиям эргономики и позволял удобно разместить на рабочей поверхности оборудование с учетом его количества, размеров и характера выполняемой работы. Высота стола была в пределах от 700 до 800 мм. Быстрое и точное считывание информации обеспечивалось при расположении плоскости экрана ниже уровня глаз, предпочтительно перпендикулярно к нормальной линии взгляда (нормальная линия взгляда 15 градусов вниз от горизонтали);

– Рабочее кресло. Кресло должно обеспечивать физиологически рациональную рабочую позу, при которой не нарушается циркуляция крови и не происходит других вредных воздействий. Для этого необходимо чтобы у кресла была упругая спинка анатомической формы, которая уменьшит нагрузку на позвоночник. Мое кресло имело ширину и глубину поверхности

сиденья не менее 450 мм. Кресло имело возможность регулировки высоты поверхности сиденья в пределах 450–550 мм и углом наклона вперед до 15 градусов и назад до 5 градусов. Кресло имело стационарные подлокотники, поверхность сиденья, спинки и подлокотников была мягкая, с несскользящим не электризующимся, воздухопроницаемым покрытием, легко очищаемым от грязи;

- Персональный компьютер. Монитор должен располагаться на рабочем столе прямо, и удален от глаз минимум на 50–60 см. Клавиатура должна располагаться в 10–15 см от края стола. Экран моего монитора находился на оптимальном расстоянии от глаз, что составляло 650–700 мм. Клавиатура располагалась на поверхности стола на расстоянии 100–200 мм от края стола;

- В помещении находилась аптечка первой медицинской помощи, углекислотный огнетушитель для тушения пожара;

- Корзина для утилизации мусора.

7.3 Производственная безопасность

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием некоторых опасных и вредных факторов согласно ГОСТ 12.0.003-2015 [16]. Выявленные вредные факторы на участке, где находится рабочее место, представлены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Вредные и опасные производственные факторы при выполнении работ

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работы за ПК	1. Отклонение показателей микроклимата от нормы. 2. Превышение уровня шума. 3. Отсутствие или недостаток освещения. 4. Психофизиологические факторы (монотонность труда, нервно-психические перегрузки, перенапряжение зрительных анализаторов).	1. Поражение электрическим током. 2. Короткое замыкание. 3. Статическое электричество.	ГОСТ 22269-76 [15]; СанПиН 2.2.4.548-96 [17]; СанПиН 1.2.3685-21 [18]; СП 52.13330.2016 [19]; ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ [14]; СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [21]; ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление [22]; ГОСТ 26522-85 Короткие замыкания в электроустановках [23]; ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов [24]; ГОСТ 12.1.004-91 [25].

7.3.1 Отклонение показателей микроклимата от нормы

Микроклимат производственных помещений регулируются СанПиН 2.2.4.548-96 [17].

Параметры, характеризующие микроклимат в производственных помещениях:

- Температура воздуха (t , °C);
- Температура поверхностей (t , °C);
- Относительная влажность воздуха (φ , %);
- Скорость движения воздуха (v , м/с);
- Интенсивность теплового облучения (I , Вт/м²).

В производственных помещениях для работы с ПК происходит постоянное выделение тепла самой вычислительной техникой, вспомогательными приборами и 8 средствами освещения. Поскольку сотрудник находится в непосредственной близости с источниками выделения тепла, то данный фактор является одним из важнейших вредных факторов производственной среды, а высокая температура воздуха способствует быстрому перегреву организма и быстрой утомляемости.

Принцип нормирования микроклимата – создание оптимальных условий для теплообмена тела человека с окружающей средой.

Для обеспечения комфортных условий используются как организационные методы (рациональная организация проведения работ в зависимости от времени года и суток, чередование труда и отдыха), так и технические средства (вентиляция, кондиционирование воздуха, отопительная система).

Санитарные нормы устанавливают оптимальные и допустимые значения величин показателей микроклимата рабочих мест для различных категорий работ в теплый и холодный периоды года. Для специалиста, выполняющего работу за ПК, категория работ является легкой (1а), т.к. работа проводится сидя, без систематических физических нагрузок. Оптимальные параметры микроклимата в офисных помещениях приведены в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Оптимальные параметры микроклимата в производственных помещениях пользователя ПК

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый	23-25	22-26	60-60	0,1

В таблице 7.4 приведены допустимые показатели микроклимата для офисных помещений.

Таблица 7.4 – Допустимые показатели микроклимата производственных помещений пользователя ПК

Период года	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность, %, не более	Скорость движения воздуха, м/с	
	Ниже оптимальных величин	Выше оптимальных величин			Температура воздуха ниже оптимальной	Температура воздуха выше оптимальной
Холодный	20,0–21,9	24,1–25,0	19–26	15-75	0,1	0,1
Теплый	21,0–22,9	25,1–28,0	20–29	15-75	0,1	0,2

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена и отопления, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования.

При исследовании микроклимата в естественных условиях было выявлено, что температура соответствует оптимальным и допустимым условиям, скорость чуть меньше оптимального и допустимого уровней, влажность соответствует допустимым условиям. В результате некоторых

отклонений могут наблюдаться: дискомфортные теплоощущения, ухудшение самочувствия и понижение работоспособности. В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата должны быть использованы защитные мероприятия, например, системы местного кондиционирования воздуха, применение средств индивидуальной защиты, регламент времени работы и прочее.

7.3.2 Превышение уровня шума

Предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления, дБ (эквивалентные уровни звукового давления, дБ), допустимые эквивалентные и максимальные уровни звука на рабочих местах в производственных и вспомогательных зданиях, на площадках промышленных предприятий для проникающего шума следует принимать согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [21].

Источниками шума являются ПК. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочем месте соответствует значению 70 дБА. При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства коллективной защиты (СКЗ) и средства индивидуальной защиты (СИЗ) согласно ГОСТ 12.1.003-83 [20].

7.3.3 Отсутствие или недостаток освещения

Работа с компьютером подразумевает постоянный зрительный контакт с дисплеем ПК и занимает от 80% рабочего времени. Недостаточность освещения снижает производительность труда, увеличивает утомляемость и количество допускаемых ошибок, а также может привести к появлению профессиональных болезней зрения.

Согласно СП 52.13330.2016 [19] в лаборатории, где происходит работа III зрительного разряда и подразряда г (работы высокой точности). В таблице 7.5 представлены нормативные показатели искусственного освещения при работах заданной точности.

Таблица 7.5 – Требования к освещению помещений промышленных предприятий для пользователей ПК

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение		
						Освещенность, лк		
						При системе комбинированного освещения		При системе общего освещения
						всего	В том числе от общего	
Высокой точности	От 0,3 до 0,5	III	г	Средний, большой	Светлый, средний	400	200	200

По данным таблицы следует, что освещенность при системе общего освещения должна быть не ниже $E = 200$ Лк.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента использования светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 8$ м, ширина $B = 6$ м, высота $H = 3,5$ м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 0,8$ м.

Площадь помещения:

$$S = A \cdot B = 6 \cdot 8 = 48 \text{ м}^2, \quad (7.1)$$

Коэффициент отражения стен оклеенных светлыми обоями с окнами, без штор $\rho_c = 30\%$, потолка светлой поверхности $\rho_{\Pi} = 50\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_3 = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу дневного света ЛД-40, световой поток которой равен $\Phi_{\Pi} = 2300$ Лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна $A_{\text{св}} = 1227$ мм, ширина $B_{\text{св}} = 265$ мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda = 1,2$.

Расстояние светильников от перекрытия (свес): $h_c = 0,4$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 0,8 - 0,4 = 2,3 \text{ м}, \quad (7.2)$$

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{8 \cdot 6}{2,3 \cdot (8 + 6)} = 1,49 \quad (7.3)$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_c = 30\%$, $\rho_{\text{п}} = 50\%$. и индексе помещения $i = 1,49$ равен $\eta = 0,43$.

Потребные группы люминесцентных ламп светильника рассчитываются по формуле:

$$N = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{\Phi_{\text{п}} \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 8 \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{2300 \cdot 0,46} \approx 15 = 16 \quad (7.4)$$

Количество рядов светильников N_A , и количество светильников в ряду N_B рассчитывается согласно формулам 1.5-1.6. Общее число светильников: $N_{\text{св}} = 8$.

$$N_A = \frac{(B - x)}{L_2} = \frac{6000 - 709}{2128} \approx 2 \quad (7.5)$$

$$N_B = \frac{(A - y)}{L_2} = \frac{8000 - 630}{1892} \approx 4 \quad (7.6)$$

План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами представлен на рисунке 7.1.

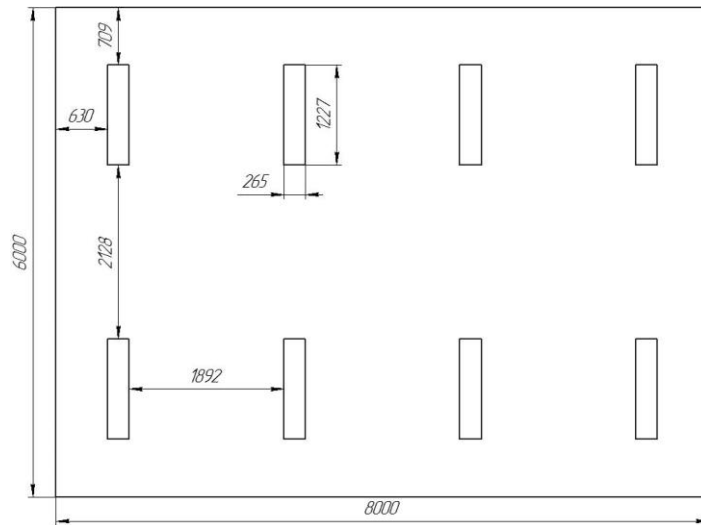


Рисунок 7.1 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Расчёт светового потока группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{рас}} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 8 \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{16 \cdot 0,46} = 2152 \text{ лм} \quad (7.7)$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{П}} - \Phi_{\text{рас}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% \leq 20\%; \quad (7.8)$$

$$\frac{\Phi_{\text{П}} - \Phi_{\text{рас}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{2300 - 2152}{2300} \cdot 100\% = 6,4\%, \quad (7.9)$$

Таким образом: $-10\% \leq 6,4\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

7.3.4 Психофизиологические факторы (монотонность труда, нервно-психические перегрузки, перенапряжение зрительных анализаторов).

При работе с ПК основным фактором, влияющим на нервную систему специалиста, является огромное количество информации, которое он должен

воспринимать. Меры, позволяющие снизить воздействие этого вредного производственного фактора, регулируются СанПиН 1.2.3685-21 [18]. Они позволяют увеличить производительность труда и предотвратить появление профессиональных болезней.

Организация работы с ПК осуществляется в зависимости от вида и категории трудовой деятельности. Виды трудовой деятельности разделяются на 3 группы:

группа А – работа по считыванию информации с экрана с предварительным запросом;

группа Б – работа по вводу информации;

группа В – творческая работа в режиме диалога с ПК.

Работа специалиста по реализации алгоритмов, относится к группам А и Б. Для снижения воздействия рассматриваемого вредного фактора предусмотрены регламентированные перерывы для каждой группы работ (таблица 7.6).

Таблица 7.6 – Суммарное время регламентированных перерывов в зависимости от продолжительности работы, вида категории трудовой деятельности ПК

Категория работы с ПК	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с ПК			Суммарное время регламентированных перерывов, мин.	
	группа А, количество знаков	группа Б, количество знаков	группа В, ч	при 8-часовой смене	при 12-часовой смене
I	до 20 000	до 15 000	до 2	50	80
II	до 40 000	до 30 000	до 4	70	110
III	до 60 000	до 40 000	до 6	90	140

7.3.5 Поражение электрическим током

Поражение электрическим током является опасным производственным фактором и, поскольку пользователь ПК имеет дело с электрооборудованием, то вопросам электробезопасности на его рабочем месте должно уделяться много внимания. Нормы электробезопасности на рабочем месте регламентируются СанПиН 1.2.3685-21 [18], вопросы требований к защите от поражения электрическим током освещены в ГОСТ 12.1.038-82 [24].

Помещение, где расположено рабочее место пользователя ПК, относится к помещениям без повышенной опасности ввиду отсутствия следующих факторов: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы, высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и металлическим корпусам электрооборудования.

Для пользователя ПК при работе с электрическим оборудованием обязательны следующие меры предосторожности:

- Перед началом работы нужно убедиться, что выключатели и розетка закреплены и не имеют оголенных токоведущих частей;
- При обнаружении неисправности оборудования и приборов необходимо, не делая никаких самостоятельных исправлений, сообщить человеку, ответственному за оборудование.

7.4 Обоснование мероприятий по снижению воздействия вредных производственных факторов

Для поддержания нормальных значений параметров микроклимата на рабочих местах рекомендуется оснащать их системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Целесообразно обеспечить питьевое водоснабжение. В помещениях для работы с ПК должна производиться ежедневная влажная уборка, а также систематическое проветривание после каждого часа работы.

Для защиты пользователей ПК от негативного воздействия электромагнитных полей необходимо, чтобы используемая техника удовлетворяла нормам и правилам сертификации. При работе с ПК установлены регламентированные перерывы, а также иногда предусмотрено использование экранов и фильтров в целях защиты сотрудника.

Для создания и поддержания благоприятных условий освещения для пользователей ПК, их рабочие места должны соответствовать санитарно–эпидемиологическим правилам СанПиН 1.2.3685-21 [18]. Рабочее помещение должно иметь естественное и искусственное освещение, соответствующее показателям, представленным в таблице 7.5. Для рассеивания естественного освещения следует использовать жалюзи на окнах рабочих помещений. В качестве источников искусственного освещения должны быть использованы люминесцентные лампы, лампы накаливания – для местного освещения.

Для предупреждения преждевременной утомляемости пользователей ПК рекомендуется организовывать рабочую смену путем чередования работ с использованием ПК и без него. В случаях, когда характер работы требует постоянного взаимодействия с компьютером, рекомендуется организация перерывов на 10–15 мин. через каждые 45–60 мин. работы.

7.5 Экологическая безопасность

Безотходная технология является наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий.

Бумага является самым распространенным побочным продуктом в виде разных документов и чертежей. Снизить потребление и, соответственно, отходы бумаги можно с помощью перехода с бумажных на цифровые носители, введением цифрового документооборота и систем САПР. Также существуют программы по утилизации и переработке макулатуры, согласно ГОСТ Р 53692-2009 [27] в новый бумажный продукт, что снижает потребность

в вырубке лесов. При правильной переработке более 75% макулатуры попадает во вторичный оборот.

Ртуть содержащие лампы необходимо герметично упаковать и отправить в организацию, занимающуюся их утилизацией.

Картриджи необходимо сдать в организацию, занимающуюся их утилизацией. Утилизация картриджей проводится двумя способами:

- Наиболее распространенный способ – переработка с последующим использованием для новых изделий. Многие компании-производители собранные отработанные изделия передают дочерним перерабатывающим организациям.

- Другой способ – механическое и термическое разложение. Изделия подвергаются сортировке и разделению на составляющие компоненты, после чего пластиковые и металлические части измельчают и переплавляют при высокой температуре с получением вторсырья.

Оба способа выполняются согласно ГОСТ 17.4.3.04-85 Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения [26].

При написании дипломного проекта на предприятии вредных выбросов в атмосферу, почву и водные источники не производилось, радиационного заражения не произошло, чрезвычайные ситуации не наблюдались, поэтому существенных воздействий на окружающую среду и соответственно вреда природе не оказывалось.

7.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией при выполнении дипломной работы является пожар на рабочем месте.

Согласно НПБ 105-03 [28] лаборатория относится к категории Д - негорючие вещества и материалы в холодном состоянии. По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 [29] (выполнено из кирпича, которое относится к трудно

сгораемым материалам). Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Для профилактики организации действий при пожаре должен проводиться следующий комплекс организационных мер:

- должны обеспечиваться регулярные проверки пожарной сигнализации, первичных средств пожаротушения;
- должен проводиться инструктаж и тренировки по действиям в случае пожара; не должны загромождаться или блокироваться пожарные выходы;
- должны выполняться правила техники безопасности и технической эксплуатации электроустановок;
- во всех служебных помещениях должны быть установлены «Планы эвакуации людей при пожаре и других ЧС», регламентирующие действия персонала при возникновении пожара.

Для предотвращения пожара помещение с ПК должно быть оборудовано первичными средствами пожаротушения:

- углекислотными огнетушителями типа ОУ-2 или ОУ-5;
- пожарной сигнализацией, а также, в некоторых случаях, автоматической установкой объемного газового пожаротушения.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых или углекислотных огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному выходу (рисунок 7.2).

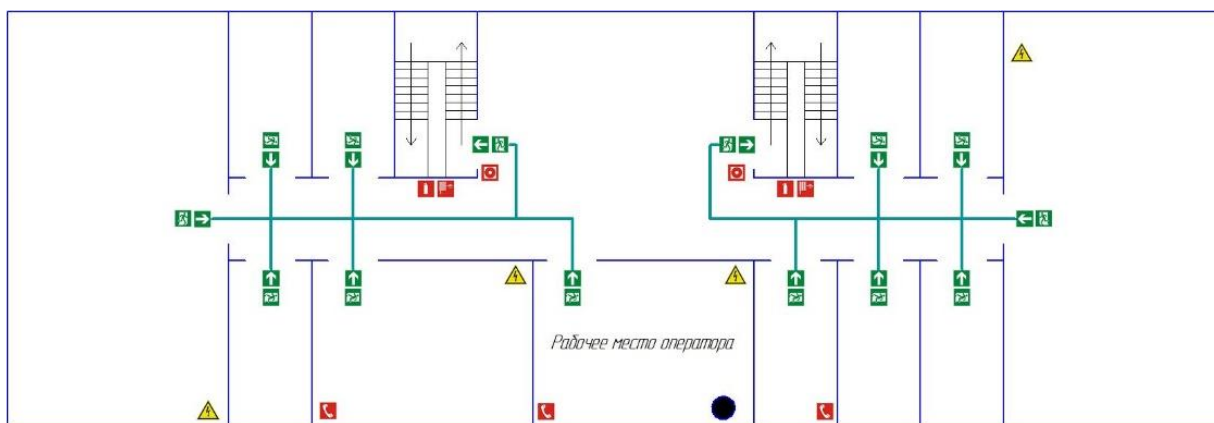


Рисунок 7.2 – План эвакуации

7.7 Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В разделе «Социальная ответственность» рассматриваются вопросы соблюдения прав персонала на труд, выполнения требований к безопасности и гигиене труда, к промышленной безопасности, охране окружающей среды и ресурсосбережению. Целями данного раздела являются принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи в производстве, и снижение вредных воздействий на окружающую среду.

В данном разделе были проанализированы разработанные в ходе выпускной квалификационной работы решения с точки зрения социальной ответственности за моральные, общественные, экономические, экологические возможные негативные последствия и ущерб здоровью человека в результате их разработки, производства и внедрения. Кроме того, разработанные решения были проанализированы на предмет выявления основных техносферных опасностей и вредностей, оценена степень воздействия их на человека, общество и природную среду, предложены методы минимизации этих воздействий и защиты от них.

Исходя из вышеперечисленного, можно сделать вывод, что вопросы, связанные с социальной ответственностью, регулируются государством через законы. Российский специалист обязан знать и соблюдать законодательство в данной области, что позволит минимизировать негативное действие производства и проектируемых разработок.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были изучены алгоритмы синтеза данных, изучен принцип работы интеллектуальных систем, проведен литературный обзор. Реализованы следующие алгоритмы (интеллектуальные модели):

- Полносвязный автоэнкодер для восстановления числовых данных;
- Полносвязный вариационный автоэнкодер для синтеза числовых данных;
- Полносвязный вариационный автоэнкодер для синтеза изображений;
- Сверточный вариационный автоэнкодер для синтеза изображений;
- Сверточный вариационный автоэнкодер, с применением transfer learning, для синтеза изображений;
- Генеративно-состязательная модель для синтеза изображений;
- Комбинированная модель для синтеза изображений;

Проведена сравнительная характеристика моделей на медицинских данных. В задаче синтеза изображений выявлено, что наилучших показателей достигает модель сверточного вариационного автоэнкодера с применением предварительно обученной модели выделения признаков в качестве энкодера. Данная модель имеет сравнительно высокую скорость обучения, достигает «ожидаемого» качества даже в восстановлении изображения с наложением шумов, а также обладает высокой степенью вариативности. В задаче синтеза числовых данных, а именно влияние аллергенов на человека качественных результатов достиг вариационный автоэнкодер, основанный на полносвязных слоях.

Достигнутые показатели не являются предельными для данной работы. Разработанные модели могут быть доработаны архитектурно, а также может быть проведена оптимизация гиперпараметров. Стоит отметить, что уже на

данном этапе, реализованные модели справляются с поставленной задачей и используются в качестве генерации данных, для последующей классификации.

Список использованных источников литературы

1. Hripcsak G. et al. Observational Health Data Sciences and Informatics (OHDSI): opportunities for observational researchers //Studies in health technology and informatics. – 2015. – Т. 216. – С. 574.
2. Tschannen M., Bachem O., Lucic M. Recent advances in autoencoder-based representation learning //arXiv preprint arXiv:1812.05069. – 2018.
3. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks //Advances in neural information processing systems. – 2012. – Т. 25. – С. 1097-1105.
4. Pu Y. et al. VAE learning via Stein variational gradient descent //arXiv preprint arXiv:1704.05155. – 2017.
5. Burgess C. P. et al. Understanding disentangling in β -VAE //arXiv preprint arXiv:1804.03599. – 2018.
6. Dai B., Wipf D. Diagnosing and enhancing VAE models //arXiv preprint arXiv:1903.05789. – 2019.
7. Лаптев В. В. , Данилов В. В. Исследование вариационного автоэнкодера для синтеза новых медицинских данных // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР: В 2 частях. Часть 2, Томск, 25-27 Мая 2020. - Томск: В-Спектр, 2020 - С. 64-67.
8. Zhao J., Mathieu M., LeCun Y. Energy-based generative adversarial network //arXiv preprint arXiv:1609.03126. – 2016.
9. Лаптев В. В. , Данилов В. В. , Гергет О. М. Исследование генеративно–состязательных сетей для синтеза новых медицинских данных = Research of generative adversarial networks for the synthesis of new medical data // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. - 2020 - №. 2 (8). - С. 17-23. doi: 10.30987/2658-6436-2020-2-17-23
10. Creswell A., Bharath A. A. Inverting the generator of a generative adversarial network //IEEE transactions on neural networks and learning systems. – 2018. – Т. 30. – №. 7. – С. 1967-1974.

11. Laptev V. V. , Gerget O. M. , Markova N. A. Generative models based on VAE and GAN for new medical data synthesis // Studies in Systems, Decision and Control. - 2021 - Vol. 333. - p. 217-226. doi: 10.1007/978-3-030-63563-3_17.
12. Вихман В.В., Копысов П.Е. Медицинские изображения / Вихман В.В., Копысов П.Е. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2014. – 5 с.
13. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197- ФЗ (ред. От 30.12.2015)
14. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
15. ГОСТ 22269-76. Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
16. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. Перечень опасных и вредных факторов.
17. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
18. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
19. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
20. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности.
21. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
22. ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда

(ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

23. ГОСТ 26522-85 Короткие замыкания в электроустановках.

24. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

25. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования.

26. ГОСТ 17.4.3.04-85 Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения.

27. ГОСТ Р 53692-2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов.

28. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

29. СНиП 21-01-97* Пожарная безопасность зданий и сооружений (с Изменениями N 1, 2)

**Приложение I
(справочное)**

Literature Review:

**«Investigation of Data Synthesis Methods: Variational Autoencoder and
Generative Adversarial Networks»**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8BM93	Лаптев Владислав Витальевич		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОИТ	Гергет О.М.	д.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков, школы ИШИТР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Розанова Я.В.			

Synthetic data

Synthetic or artificial data has long been an integral part of machine learning. Indeed, any successful learning requires a huge variety of high-quality unique examples. Currently, there are examples where training was carried out only using synthetic data. This decision can be easily explained. Artificial information is easier to match and change. The purpose of the artificial data is to improve the efficiency of the training model.

There is a range of tasks related to computer vision, where it is difficult to replace a synthetic dataset, for example, in robotics. Reinforcement learning is used in the design of industrial robots and self-driving cars. In this case, the artificial intelligence system learns by directly interacting with some environment. The robot (agent) adjusts its actions based on feedback from the interaction environment.

The drone cannot be launched in the street or pedestrian zone since it is unable to determine whether to crush pedestrians or to bump into objects. Therefore, engineers resort to synthetic data. They simulate the environment in virtual space. This space is called "virtual environment".

In fact, the one of the major advantages of artificial data is their "annotation". After all, if one algorithmically composes an image of a shelf with products in a store, then it could be evident which product is where at this stage. This property will allow us to avoid "manual marking" of the data.

Artificial data have many positive properties. However, there are the disadvantages need to be covered such as: little accuracy, training on inaccurate data, in turn, might lead to a low-quality model. Even if it is created on real data, there is a chance of getting a model that gives valid results that cannot be reproduced in the real world.

Data augmentation

Data augmentation is a method of generating additional training data from existing data. The method is based on mathematical analysis. There exist many data augmentation algorithms. The most popular are the following:

- horizontal flip;
- random crop;
- color jitter.

Various combinations are possible. as an illustration, such, for instance, rotate and arbitrarily scale at the same time. In addition, one can change the saturation and value of all pixels (the S and V components of the HSV color space).

Intelligent algorithms

In data mining (or machine learning), an algorithm is a collection of heuristics and calculations. The algorithm creates a model from the data. To create a model, the algorithm first analyzes the provided data, looking for specific patterns and trends. The algorithm applies the results of this analysis to multiple iterations. The purpose of the algorithm is to select the optimal parameters for creating a data mining model. These parameters are then applied to the entire dataset. In order to identify usable patterns and get detailed statistics.

A data mining model created by an algorithm from the provided data and may take a variety of forms, including the following:

- A set of clusters describing the relationships of variants in a dataset;
- A decision tree that predicts an outcome and describes how different criteria affect that outcome;
- A mathematical model that predicts sales;
- A set of rules describing the grouping of products in a transaction and the likelihood of simultaneous purchases of products;

The neural network also belongs to the category of intelligent algorithms. A

neural network is a sequence of neurons connected by synapses. The structure of the neural network came to the programming world straight from biology. Thanks to this structure, the machine acquires the ability to analyze and even memorize various information. Neural networks analyze the incoming information; in addition, they are used to reproduce it from their memory. The memory of a neural network is presented in the form of a mathematical model that stores information about the weights of each neuron. The memory of a neural network is presented in the form of a mathematical model that stores information about the weights of each neuron. A neuron is a computational unit that receives information, performs calculations on it and transmits it further. Having passed all the neurons, the input information is converted into the output (expected).

Variational Autoencoder

The variational autoencoder is based on the structure of the classic autoencoder. Autoencoders presents feed-forward neural networks. The task of which is to restore the input signal at the output (see Figure 1). Within such networks, there is a hidden “Code” layer that reflects a hidden view that describes the model. Autoencoders are designed in such a way as not to be able to accurately copy the input to the output. Usually they are limited in the dimension of the latent representation, which is less than the size of the signal. The input signal is recovered with errors due to encoding loss. However, in order to minimize them, the network has to learn to select the most important features.

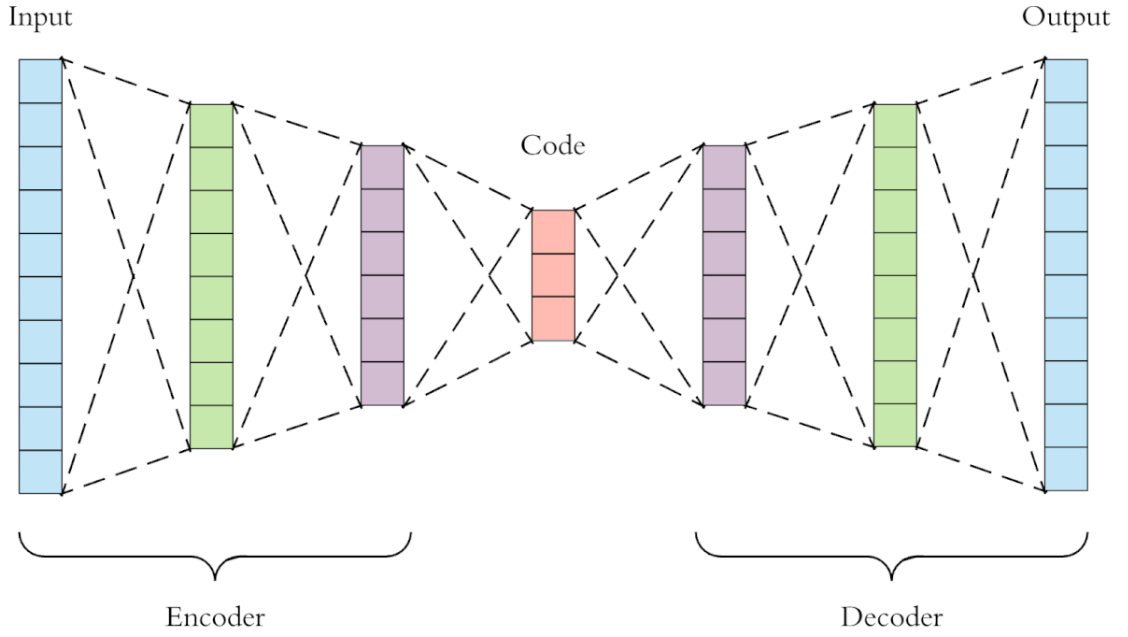


Fig. 0 Autoencoder conceptual diagram

Autoencoders consist of two parts: encoder g and decoder f . The encoder translates the input signal into its representation (code, latent representation):

$$h = g(x)$$

and the decoder reconstructs the signal from its code:

$$x = f(h)$$

Thus, the autoencoder, changing f and g , seeks to learn the identical function $x = f(g(x))$, minimizing a certain error functional $L(x, f(g(x)))$. The families of functions of the encoder g and the decoder f are constrained in such a way that the autoencoder is forced to choose the most important properties of the signal (feature / feature vector).

Variational Autoencoder (VAE) represents a generative model. VAE finds application in many areas of research. The field extends from the creation of new human faces to the creation of completely artificial music.

VAE has a unique property that sets it apart from classic autoencoders. This property makes variational autoencoders quite useful for generating data. Their hidden space “Code” is continuous by construction. This design allows for random transformations and interpolation.

The continuity of the hidden space is achieved as follows. The encoder outputs not one vector of size n , but two vectors of size n . Vector of mean values μ and vector of standard deviations σ .

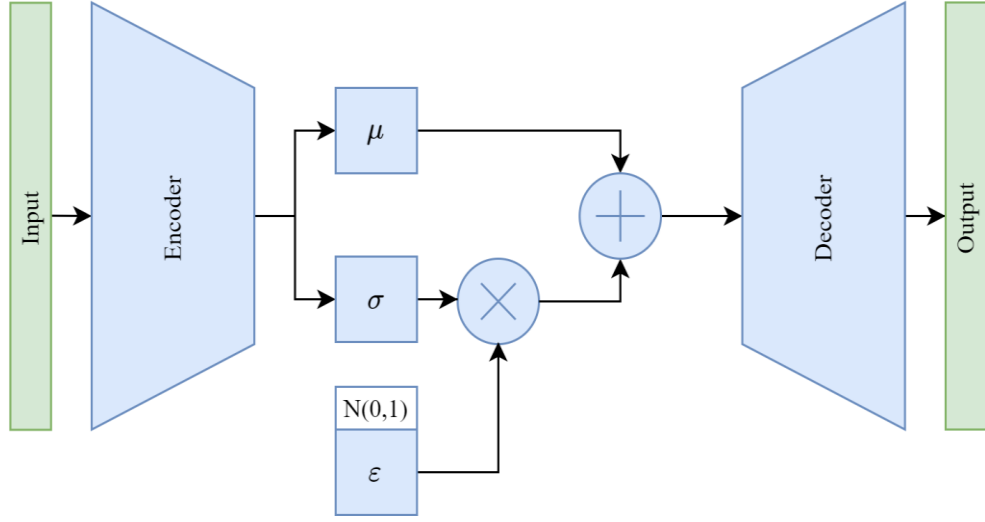


Fig. 2 Conceptual diagram of a VAE

VAE form parameters of a vector of length n from random variables X_i . And the $i - th$ elements of the vectors μ and σ are the mean and standard deviation of the $i - th$ random variable X_i . Together, these quantities form an $n - dimensional$ random vector. The vector is sent to the decoder to recover the data.

This phenomenon is called "stochastic generation". Stochastic generation means that even for the same input data, the encoding result will be different. This is explained by the randomness of the choice of the coding vector.

The average value μ defines the point near which the vertex of the vector will be located. The standard deviation σ determines how far the top can be from this mean. Thus, the vertex of a coding vector can lie inside an $n - dimensional$ circle (see Figure 2). Therefore, the input object no longer corresponds to one point in the hidden space, but a certain continuous region. This fact allows the decoder to work not with one coding vector, corresponding input data, however with their own set. Thanks to this, even one image is restored with a share of variability.

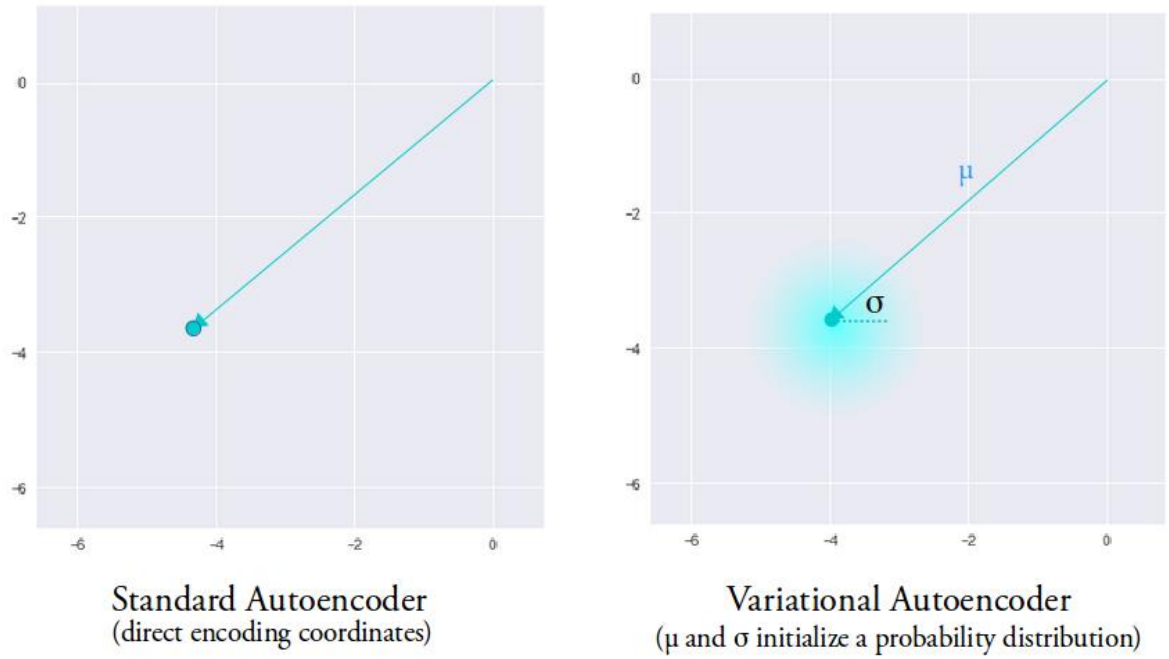


Fig. 3 Standart autoencoder and VAE encoding

To achieve the goal of creating a continuous hidden space. Spaces where all areas are located as close to each other as possible. Though at the same time remain distinguishable as separate components. The goal is achieved using the following concept: Kullback–Leibler divergence (KL). If this condition is met, you can perform smooth interpolation and create new data at the output.

KL divergence between two distribution functions shows how much they differ from each other. Minimizing the KL divergence means optimizing the distribution parameters. The parameters μ and σ change in such a way that they become close to the parameters of the target distribution.

For VAE KL the losses are equivalent to the sum of all KL divergences between the distribution of the component $X_i \sim N(\mu_i, \sigma_i^2)$ in the vector X and the normal distribution. The minimum is reached when $\mu_i = 0$ and $\sigma_i = 1$. As you can see, accounting for KL loss forces the encoder to place each separate coding area in the vicinity of some point in the hidden space. When using KL loss, the coding area is randomly placed in the vicinity of the selected point in the latent spatial. The

hidden space takes little into account the similarity of the original samples. Therefore, the decoder is unable to extract anything meaningful from this space.

As a matter of fact, by optimizing both the encoder and decoder, we get a hidden space that corresponds to the similarity at the global level. Hidden space appears as densely spaced regions near the origin of the hidden space.

Generative adversarial network

Generative adversarial network (GAN) consists of two neural networks: a generator and a discriminator. Both parts of the network are set to work against each other. From here and the name generative adversarial networks. The generator samples random numbers from some distribution $P(Z)$. Distribution based on input noise $N(0, 1)$. Based on which, the generator creates objects $X_p = G(Z; \theta_g)$. and the discriminator, receiving samples from the original sample X_s and the generator X_p , as input, learns to predict the nature of the sample (where it came from). Discriminator outputs the scalar $D(X; \theta_d)$. Figure 4 shows a classic GAN structure.

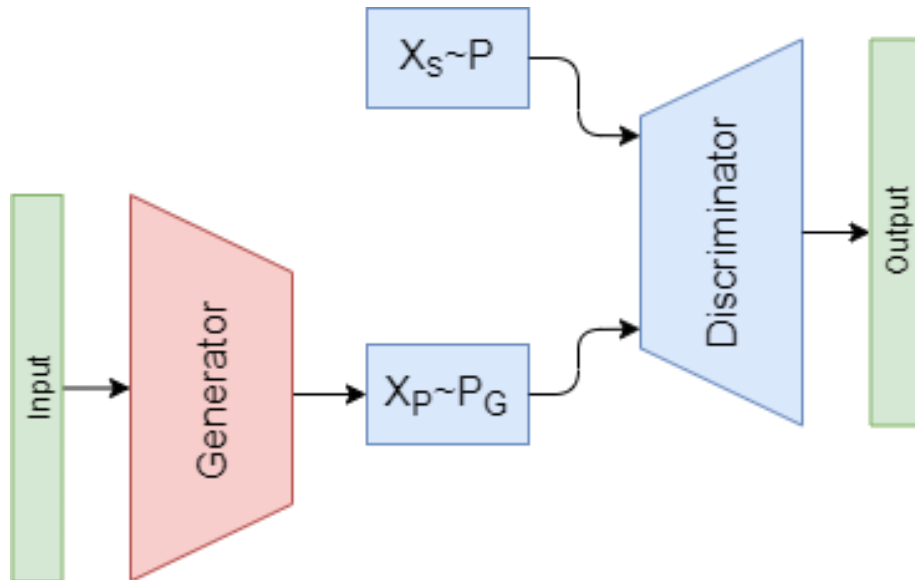


Fig. 4 Classic GAN architecture

The GAN learning process can be represented as the following algorithm (generator and discriminator are trained separately, but within the same network):

Шаг 4. Set an arbitrary initial noise $G(Z)$.

Шаг 5. Train the discriminator, parameters θ_d are updated towards decreasing binary cross-entropy (BCE):

$$BCE = -\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N y_i \cdot \log(\hat{y}_i) + (1 - y_i) \cdot \log(1 - \hat{y}_i) \quad (1)$$

$$\theta_d = \theta_d - \nabla_{\theta_d} (\log(D(X_s)) + \log(1 - D(G(Z)))) \quad (2)$$

Шаг 6. Teach the generator, update the parameters of the generator θ_g the direction of increasing the logarithm of the probability, and assign the generated object a real label to the discriminator:

$$\theta_g = \theta_g + \nabla_{\theta_g} (\log(1 - D(G(Z)))) \quad (3)$$

The problem that GAN solves can be formulated as follows:

$$\min_G \max_D E_{X \sim P} [\log(D(X))] + E_{Z \sim P_Z} [\log(1 - D(G(Z)))] \quad (4)$$

For a given generator, the optimal discriminator gives the probability:

$$D(X) = \frac{P(X)}{P_g(X) + P(X)} \quad (5)$$

In compliance with the work done by J. Goodfellow, it is shown that with sufficient power of both networks this problem has an optimum. At the optimum point, the generator will learn to generate the distribution $P_g(X)$, which coincides with $P(X)$. And the discriminator for any X will give a probability of 0.5. Figure 5 illustrates the training process for spawning adversarial GANs from [8]. Where:

- black dotted curve – true distribution $P(X)$;
- green – generator distribution $P_g(X)$;
- blue - the probability distribution $D(X; \theta_d)$ of the discriminator to

predict the belonging of the object.

As a result of repeated repetition of steps a, b, c $P_g(X)$ coincides with $P(X)$ and the discriminator is unable to distinguish one from the other.

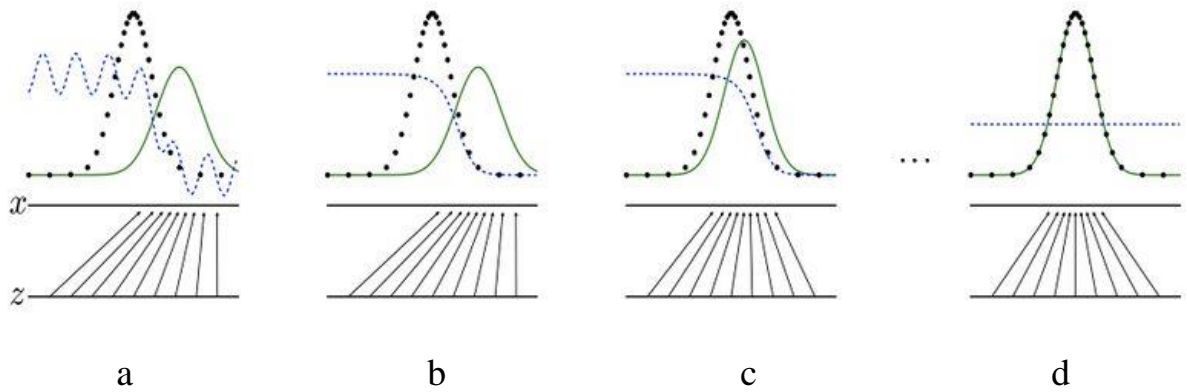


Fig. 5 Illustration of the GAN training process

GAN potential is huge. GANs simulate any data distribution. GAN is known to be trained for creating structures that are indistinguishable from real objects of the surrounding world in the field of images, music, speech, prose. Generative adversarial networks represent robot artists and the results of their work are impressive. In addition, GAN might be used to improve the quality of unclear or partially damaged photos. This is achieved by training the network to create objects not from random noise, but based on input data. GAN analyzing input data multiplies use cases. Generative adversarial networks could refine texts, paint pictures from sketches, change the nature of objects and repair damaged texts. It should be noted that not only the generator, but also the discriminator has useful properties. The discriminator is trained to distinguish real objects from synthetic ones which makes it a good assistant in the field of comparison.